



# VÖLTUN Í VEGAGERÐ LEIÐBEININGAR OG ÞRÓUN VERKLAGS

**Davíð Sigurðsson**

**Lokaverkefni í byggingartæknifræði BSc**

2014

Höfundur: **Davíð Sigurðsson**  
Kennitala: **120379-3059**  
Leiðbeinandi: **Haraldur Sigursteinsson**

Tækni- og verkfræðideild  
School of Science and Engineering



# Tækni- og verkfræðideild

## Heiti verkefnis:

Völtun í vegagerð – Leiðbeiningar og þróun verklags

## Námsbraut:

Byggingartæknifræði BSc

## Tegund verkefnis:

Lokaverkefni í tæknifræði BSc

## Önn:

Haust 2014

## Námskeið:

LOK 1012

## Höfundur:

Davíð Sigurðsson

## Umsjónarkennari:

Guðbrandur Steinþórsson

## Leiðbeinandi:

Haraldur Sigursteinsson

## Fyrirtæki/stofnun:

Vegagerðin

## Ágrip:

Markmið verkefnis er að þróa og innleiða nýjungar fyrir stjórnun völtunar á efnum í vegagerð og útbúa gögn um framkvæmd eftirlits með þjöppun.

Gerðar eru tillögur að leiðbeiningum fyrir þjöppun mismunandi efna, allt frá undirstöðu til slitlags og sett fram drög að þjöppunarkröfum sem nota má við útboðslýsingar.

Fjallað er sérstaklega um mat á þjöppun með stöðugum þjöppugreiningarbúnaði með mótstöðumælingu og sjálfvirkri orkustýringu valtara sem kallað hefur verið „Intelligent Compaction“ sem og aðrar aðferðir sem notaðar eru við eftirlit með völtun í dag.

## Dagsetning:

4.12.2014

## Lykilorð íslensk:

Þjöppun  
Þjöppugreining  
Vegagerð

## Lykilorð ensk:

Intelligent  
Compaction

## Dreifing:

opin

lokuð

til:

## Formáli

Verkefni þetta er lokaverkefni í byggingartæknifræði við Háskólann í Reykjavík unnið á haustönn 2014. Verkefnið er unnið undir leiðsögn Haralds Sigursteinssonar hjá Vegagerðinni. Markmið þessa rits er að innleiða nýjungar fyrir stjórnun völtunar á eignum í vegagerð og útbúa gögn um framkvæmd eftirlits með þjöppun.

Reykjavík 4. desember 2014

---

Davíð Sigurðsson



## Efnisyfirlit

<b>1 Inngangur</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Þjöppun</b> .....	<b>7</b>
2.1 Þjöppun með titringi .....	8
2.1.1 Þjöppunarorka .....	10
2.2 Mælingar á þjöppun í vegagerð.....	10
2.2.1 Þróun mælingar á þjöppun .....	11
2.2.2 Plötupróf.....	12
2.2.3 Hallamæling .....	13
2.2.4 Rúmpyngdarmælingar.....	14
2.3 Þjöppunarkröfur.....	14
2.4 Þjöppuáætlun .....	15
2.5 Þjöppun mismunandi efna .....	16
2.5.1 Þjöppun við breytilegar jarðvegsaðstæður .....	17
2.6 Lagþykkt fyllingarefnis .....	18
2.7 Rakainnihald.....	19
2.8 Almenn útfærsla á þjöppun á fyllingu .....	20
2.8.1 Fylling .....	20
2.8.2 Styrktarlag .....	22
2.8.3 Burðarlag.....	24
2.8.4 Slitlag .....	25
2.9 Þjöppun við mannvirki .....	27
<b>3 Þjöppubúnaður</b> .....	<b>29</b>
3.1 Einnar tromlu valtarar.....	29
3.2 Tveggja tromlu valtarar .....	30
3.3 Valtarar með gúmmíhjólábúnað .....	30
3.4 Þjöppur.....	30
3.5 Valtarar litlir .....	30
<b>4 Stöðug þjöppunarstjórn með mótstöðumælingum</b> .....	<b>31</b>
4.1 Mótstöðumælingar.....	32
4.2 Þjöppunarstjórn fyrir malbik .....	34
4.3 Þekking innanlands og utanlands .....	35
4.4 Staðsetning á þjöppun.....	36
4.4.1 Gervitungl og nákvæmni.....	36
4.4.2 Staðsetning án gervitungla.....	37
4.5 Sjálfvirk viðbragðsstjórn .....	38

4.6	Tegundir valtara með þjöppugreiningu .....	39
4.7	Hugbúnaður og gagnavinnsla .....	40
4.7.1	Gagnasendingar.....	41
4.7.2	Gagnameðhöndlun úr hugbúnaði .....	42
4.8	Eftirlit og skil á gögnum.....	44
4.9	Kvörðun mótstöðugilda .....	46
<b>5</b>	<b>Ferli verktaka á verkstað með þjöppugreiningarbúnað. ....</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>Drög að Verklýsingum .....</b>	<b>53</b>
6.1	Verklýsing - miklar kröfur um nákvæmni .....	53
6.2	Verklýsing - lágmarkskröfur um nákvæmni.....	54
<b>7</b>	<b>Niðurstöður .....</b>	<b>55</b>
	<b>Heimildaskrá.....</b>	<b>57</b>
	<b>Viðauki 1 Þjöppuáætlun .....</b>	<b>59</b>
	<b>Viðauki 2 Kostnaður .....</b>	<b>61</b>
	<b>Viðauki 3 Valtarategundir með þjöppugreiningarbúnað.....</b>	<b>63</b>
	<b>Viðauki 4 Dæmigerð verklýsing fyrir þjöppun.....</b>	<b>73</b>

## 1 Inngangur

Mikil þróun hefur verið í tækni og búnaði til þess að mæla og fylgjast með þjöppun efna í vegagerð. Tilgangurinn með þessu verkefni er að meta og innleiða nýjustu aðferðir við þjöppun og stjórnun þjöppunar á jarðefnum við framkvæmdir í vegagerð.

Fjallað verður sérstaklega um mat á þjöppun með stöðugum þjöppugreiningarbúnaði með mótstöðumælingu og sjálfvirkri orkustýringu valtara sem kallað hefur verið „*Intelligent Compaction*“. Einnig er fjallað um aðrar aðferðir sem notaðar eru við eftirlit með völtun í dag. Settar eru fram tillögur að leiðbeiningum fyrir þjöppun mismunandi efna, allt frá undirstöðu til slitlags og sett fram drög að nýjum þjöppunarkröfum sem nota má við útboðslýsingar.

Skóðað er hvernig nota megi sjálfvirkan gagnaflutning úr greiningarbúnaði yfir í tölvu umsjónarmanns eða eftirlits. Settar eru fram tillögur um framkvæmd og kröfur fyrir þjöppunareftirlit mismunandi efna sem notað eru uppbyggingu vega.

Hluti að vinnu við gagnasöfnun verkefnisins fólst í því að heimsækja verktaka og söluaðila tækja. Önnur gögn sem liggja til grundvallar þessa verkefnis eru sótt meðal annars til Norðurlandanna og vegagerðarinnar í Minnesota.



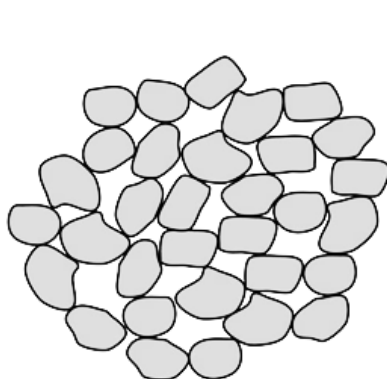


## 2 Þjöppun

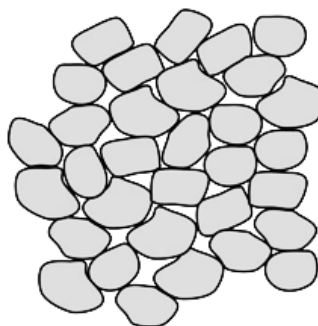
Þjöppun á fyllingarefni í vegagerð er mjög mikilvægur verkþáttur við lagningu vega. Til að ná hönnuðu burðarþoli þarf þjöppunin að vera jöfn og lagþykkt efnis í samræmi við stærð valtara. Með réttri þjöppun og efnisvali lengist endingatími vegbyggingar og kostnaður vegna viðhalds og endurbyggingar minnkar.

Þegar völtun á fyllingu hefst skal byrja á hliðum og vinnast að miðju. Umferðir valtara skulu skarast til að tryggt sé að allt svæðið sé fullþjappað. Þjöppun með titringi hefst með hárrí sveifluvídd er endað er á lágri sveifluvídd þegar síðustu ferðirnar eru farnar.

Ef ekki næst nægjanleg þjöppun verður það til þess að skemmdir vegna formbreytinga myndast á yfirborði hraðar en ella og óþarfa kostnaður verður við viðhald á slitlagi. Hjólför myndast í slitlagi þegar umferðarálag kemur á veginn. Þetta getur bæði gerst vegna eftirþjöppunar í uppbyggingu vegar og sigs í undirfyllingu sem verður vegna of mikils álags þar sem að yfirbyggingin hefur ekki þann stífleika og burð sem hún annars hefði með góðri þjöppun.



Mynd 1 Fyrir þjöppun [1].



Mynd 2 Eftir þjöppun [1].

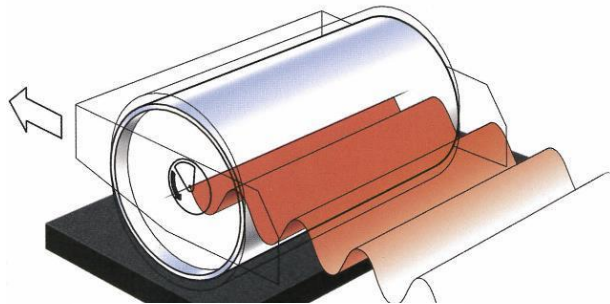
Þegar fyllingarefni er þjappað saman verður minna loftrými milli steina og snertifletir verða stærri. Aukinn snertiflötur leiðir til meiri núnings milli steina, þeir raðast betur saman og burðarþol efnisins eykst [1].

## 2.1 Þjöppun með titringi

Það eru nokkrir þættir við notkun valtara sem gera það að verkum að þjöppunarvinnan er breytileg. Þrjár helstu stillingar á valtara eru hraði, sveifluvídd og tíðni.

Það hversu hratt keflið fer yfir hefur mikil áhrif á þjöppunarvinnu. Sveifluvídd og tíðni eru þeir þættir sem ráða þjöppun þegar titringi er beitt. Tíðni lýsir því hversu ákaft tromlan gengur. Mælieiningin er *Hertz* -Hz sem stendur fyrir fjölda slaga á einni sekúndu. Dæmigerð tíðni er 30 Hz sem þýðir 30 slög á sekúndu.

Sveifluvídd lýsir því hversu öflugur titringurinn er. Tromlan hreyfist eins og bylgja með lóðréttum hreyfingum upp og niður á sama tíma og meginhreyfing valtarans áfram er lárétt (sjá mynd 3). Sveifluvídd er mæling á hæð bylgjunnar og því hærri sem sveifluvíddin er þeim öflugri slag af valtaratromlunni fer niður í efnislagið. Völtun hefur því mestu áhrifin á efsta lag vegbyggingar en áhrifin veikjast eftir því sem neðar í efnislagið kemur og því lakari eftir því sem lagþykkt fyllingar er meiri. Sveifluvídd er hægt að breyta með stillingum í stýrishúsi valtara en tíðnin breytist almennt sjálfkrafa þegar sveifluvídd er breytt [1].



Mynd 3 Bylgjuhreyfing trommlu [1]

Einnig eru til valtara sem nota sveiflandi titring með lárétta stefnu en slíkir eru meðal annars notaðir til að þjappa malbik.

Titringur frá valtarabúnaði getur fundist töluverðri fjarlægð frá þeim stað sem verið að vinna á. Samskonar titringi má finna frá umferð og sprengingavinnu [2].

Titringur er búinn til með óreglulega löguðum lóðum sem eru fest á snúningsás inni í valtaratromlu. Lóð eru fest á öxul í miðri tromlu og þyngdarpunkturinn breytist þegar snúningsásinn og lóðin snúast og er þyngdarbreytingin sem þetta veldur nóg til þess að mynda titring þegar valtaratromla er á hreyfingu. Snúningshraði öxulsins er ákvarðaður með stillingu á tíðni. Dæmigerð tíðni er 30 Hz sem þýðir 30 hringir á sekúndu. Í völturum er hægt að velja á milli þess að nota háa og lága sveifluvídd og er það gert með því að breyta snúningsstefnu öxulsins sem lóðin eru á. Hluti af þyngdinni á öxlinum er föst og hluti af þyngdinni er laus og færast með snúningnum. Hæsta sveifluvíddin gefur mestu þjöppun og fæst hún með því að föst og færanleg þyngd er sett á sömu hlið á öxli. Lóðin virka því saman og taka

valtaratromluna úr jafnvægi. Lág sveifluvídd fæst með því að snúa öxli í gagnstæða átt við háa sveifluvídd og færánlegur þungi er þá á móti föstum þunga [1].



**Mynd 4** Há sveifluvídd. Öxull snýst rangsælis [3].

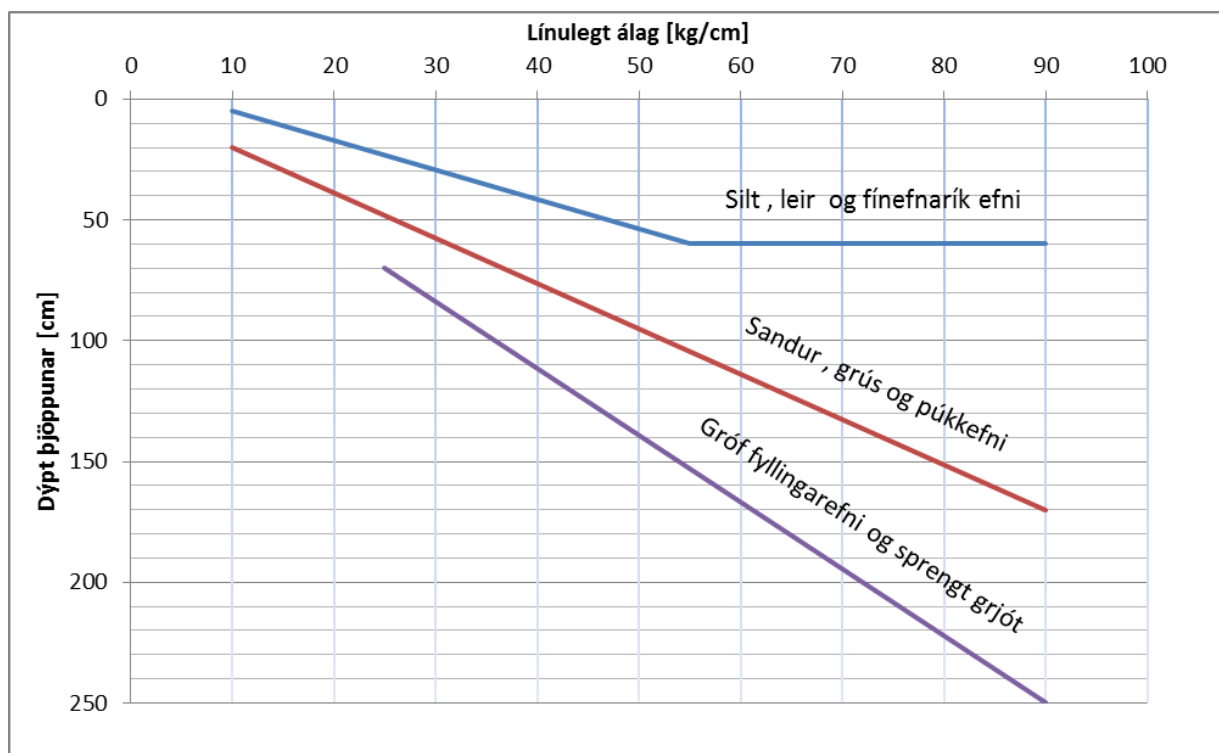


**Mynd 5** Lág sveifluvídd. Öxull snýst réttsælis [3].

Framleiðendur valtara nota mismunandi lausnir til þess að ná fram titring. Í dæmi eins og sjá má á myndum 4 og 5 er notast við stálkúlur sem mynda lausa þyngd sem færast til innan snúningsásnum. Snúningsöxullinn er mótaður þannig að þyngd hans er mismunandi. Þegar öxullinn snýst rangsælis bæta stálkúlur við þyngd hans og fæst titringur með háa sveifluvídd. Titringur með lága sveifluvídd fæst með því að láta öxullinn snúast réttsælis og renna þá stálkúlurnar til baka og mynda þyngd á móti fastri þyngd öxulsins.

Þegar þjappað er með titringi er mikilvægt að hraði valtara sé stöðugur og ekki sé farið hraðar en 3-6 km/klst. Ef ekið er á 3 km/klst með tíðni 30 Hz gefur valtarinn 36 slög á hvern meter, en 22 slög á meterinn ef ekið er á 5 km/klst. Stöðugur hraði valtara er því mikilvægur og hefur mikil áhrif á það að fá jafna þjöppun á fyllingu.

Þegar yfirborð fyllingar er orðið það stíft að ekki er hægt að ná meiri þjöppun þá byrjar keflið að gefa tvöfalt stökk og fer úr takt við innri þyngdina sem býr til titringinn. Tvöfalt stökk er skýrt merki um það að efnið þarf ekki meiri þjöppun. Sumir valtara hafa þann eiginleika að slökkva sjálfkrafa á titringi þegar þetta gerist, því ef haldið er áfram að þjappa leiðir það til þess að skemmdir geta orðið á valtarabúnaði og efsta efnislagið molnar niður eða los verður í þjöppuðu efni [1].



**Mynd 6** Graf sem sýnir hámarks dýpt þjöppunar við háa sveifluvídd fyrir þrjár efnisgerðir. Teiknað upp í samræmi við það hversu miklu álagi búnaður skilar frá sér. Athygli skal vakin á því að í silt og fínefnaríkum jarðvegi skal dýpt lagþykkt aldrei vera meiri en 60 þó svo að þyngri valtare sé beitt á efnið [1].

### 2.1.1 Þjöppunarorka

Við þjöppun á jarðefnum fer þjöppunarorka úr tromlu valtare í efnislagið sem ekið er yfir. Orkan fer í að færa steinefnið til svo þau liggi þéttar, holrými minnkar sem leiðir til góðrar þjöppunar og burðarhæfni jarðefnanna eykst. Heildar þjöppunarorka sem notuð er, er háð þyngd á valtaratromlu, sveifluvídd, tíðni, hraða valtare og fjölda ferða yfir svæðið. Þjöppunarorka er mismikil og flyst niður í jarðefnið eftir titringsstefnu. Mest í lóðréttum titringi tromlunnar og minnst í láréttum titringi.

Þjöppunarorka verður að vera af ákveðinni stærðargráðu til þess að allt lag efnisins þjappist án þess að efsta lag brotni niður. Þegar efni sem þjappað er nálgast fyrri þjöppun á lagi sem undir er eykst hættan á að efni molni niður. Mikilvægt er því að hafa rétta lagþykkt og þjöppunarbúnað sem dregur úr hættu á ofþjöppun eða of lítilli þjöppun og stýra á þann hátt hversu mikilli þjöppunarorka er notuð [1].

### 2.2 Mælingar á þjöppun í vegagerð.

Nokkrar aðferðir eru til við mælingar á þjöppun til að fylgja því eftir að fullnægjandi þjöppun sé náð í malarfyllingum. Þessar aðferðir eru mismunandi og misgóðar. Mikilvægt er að fullnægjanleg þjöppun sé náð því endingatími vegbygginga byggir að stóru leyti á því sem leiðir til þess að kostnaður vegna viðhalds og endurbyggingar minnkar.

Hér á landi hefur hingað til verið notast við plötupróf og fallóðspróf við sigmælingar í vegagerð hér á landi. Plötupróf er algengasta aðferðin og mikil reynsla og þekking er komin eftir notkun á því á 50 ára tímabili [4].

### 2.2.1 Þróun mælingar á þjöppun

Eftir því sem tæknin fleygir fram og vinnuvélar verða afkastameiri þá verður meiri hraði á verkum og jafnframt hafa þjöppunarkröfur aukist vegna þungaumferðar. Aðferðir sem notast hafa verið við þjöppumælingar eru of tímafrekar og hafa framleiðendur valtara þróað stöðuga þjöppunarstjórn í völturum.

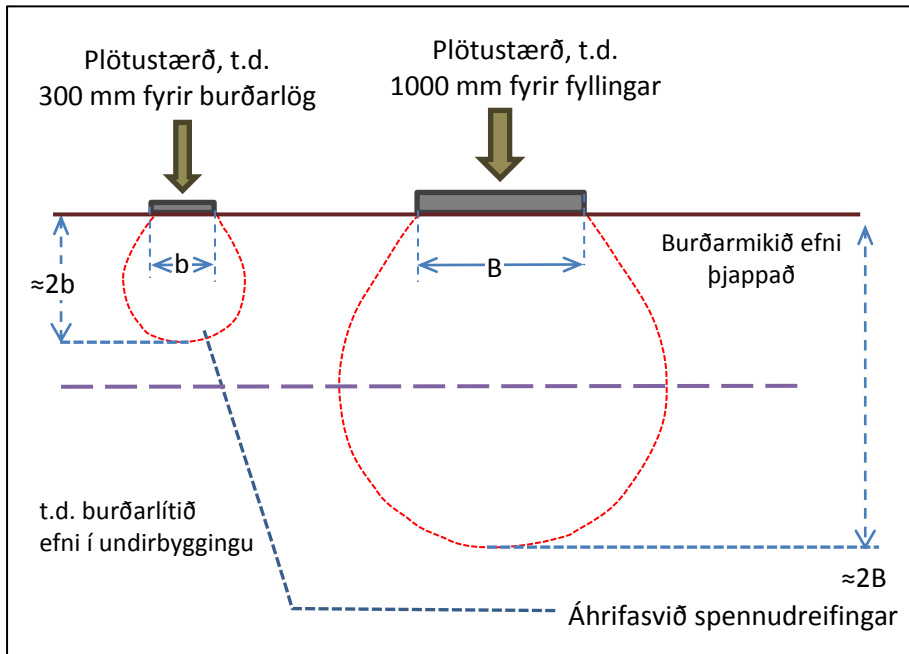
Þróun á stöðugri þjöppunarstjórn *CCC Continuous compaction control*, fyrir valtara hófst árið 1974 í Evrópu og var rannsakað af Dr Heinz Thurner fyrir sænsku vegagerðina. Tilraunir voru gerðar með einnar tromlu valtarabúnað frá *Dynapac* þar sem tromluhegðun valtara var mæld með hröðunarmæli sem festur var á tromlu. Niðurstöður úr þessum tilraunum gáfu vísbendingu um að hlutfall á milli sveifluviddar með fyrstu eigintíðni jarðefnisins og grundvallartíðni titringstromlu valtaran var vísbending um stífleika jarðvegs. Í framhaldi af því var stífleikastuðull nefndur *CMV Compaction Meter Value* [5]. Stuðull þessi er notaður sem mælikvarði þegar stöðugri þjöppunarstjórn er beitt.

Stöðug þjöppunarstjórn gefur stjórnanda og eftirliti nákvæmar upplýsingar um þjöppun á öllu því svæði sem þjappað er. Ferðafjöldi og mótstöðugildi jarðvegs er skráð í samfellu með GPS staðsetningarbúnaði sem festur er á valtara eða með annars konar staðsetningarbúnaði. Stöðug þjöppunarstjórn gefur notanda tækifæri á yfirsýn yfir þau svæði sem ekki ná þjöppun eða þurfa meiri þjöppun. Aðferðin tryggir jafna og hæfilega yfirferð valtara og spara jafnframt olíunotkun og óþarfa tímavinnu. Með rétttri notkun og skráningu gagna munu plötupróf verða óþörf í stærri verkefnum. Stöðug þjöppunarstjórn bætir gæðastýringu verktaka ef búnaður og gögn eru meðhöndluð rétt. Ítarlega er fjallað um stöðuga þjöppustjórn í kafla 4.

Fleiri tæknilegar lausnir eru til frá framleiðendum valtara og öðrum söluaðilum mælitækja. Má þar nefna að *Bomag* bytjaði að þróa *Terrameter* kerfi árið 1980, en þar er skilgreint *Omega*-gildi sem mælikvarða á þjöppunarorku [5].

## 2.2.2 Plötupróf

Plötupróf hafa verið í notkun til þess að staðfesta þjöppun á malarfyllingum. Álag er í tvígang sett á hringlaga plötu í nokkrum þrepum með vökvatjakki sem tengdur er við dælu. Mæliúr á dælu mælir sig sem verður við þetta á fyllingunni. Áhrifasvið álags sem sett er á plötuna fer eftir stærð hennar og því ber að velja plötustærð miðað við hvað er verið að prófa. Þegar próf eru gerð á burðarlögum veða á að nota 300 mm hringlaga plötu, en stærri plötur eru notaðar fyrir þykkari lög eins og t.d. fyllingar.



**Mynd 7** Áhrifasvið spennudreifingar. Áhrif spennudreifingar minnka eftir því sem dýpra kemur í efnið sem er verið að prófa, sbr. líkingar Boussinesq, en þeirra gætir þó niður í dýpt sem er ca 2 x breidd álagsflatarins. Séu notaðar of stórar plötur við prófun á þunnum lögum hefur stífleiki undirbyggingarinnar áhrif á niðurstöðurnar.

Útreikningar fara fram í tölvu á staðnum og línurit er teiknað upp sem sýnir sig sem fall af álagi og eru stuðlarnir ferlanna,  $E_1$  og  $E_2$  reiknaðir út frá hallatölum ferlanna.  $E_1$  er reiknað út frá fyrri álagskeyrslu í prófinu og  $E_2$  út frá því síðara. Hlutfallið  $E_2/E_1$  segir til um þjöppun efnisins, en  $E_2$  er mælikvarði á stífleikann.



**Mynd 8** Plötupróf á verkstað [6].

Við athugun á niðurstöðum plötuprófa, sem gerð eru á yfirborði, eru annars vegar gerðar kröfur um lágmarks gildi fyrir  $E_2$  og hins vegar kröfur um að hlutfallið milli gildanna  $E_2/E_1$  sé ekki of hátt. Fyrri krafan er gerð til að tryggja að nægilegt burðarþol sé í fyllingunni, en hin síðari á að tryggja að þjöppun sé nægileg. Fyrir getur komið, til dæmis ef vegur er byggður á mýri, að hlutfallið sé lágt og þjöppun þar með góð, en  $E_2$  sé hins vegar líka lágt og burðarþolið því ekki nægilegt vegna mýkra efna sem undir liggja.

Tekið skal fram að ekki er rétt að líta á þessi E-gildi sem reiknuð eru út frá niðurstöðum plötuprófa út frá fræðilegu sjónarhorni, sem upplýsingar um eðlis eiginleika efnisins í malarlaginu. Réttara er að skoða þau sem nokkurs konar mótstöðustuðla, sem gefa hugmynd um burðarþol út frá 50 ára reynslu við notkun plötuprófa á Íslandi. Plötupróf hentar vel fyrir mælingu á efni með flokkunarstærð  $\leq 150$  mm og fyrir lagþykkt  $< 300$  mm. Almenna krafan er að niðurstöður plötuprófa skulu að lágmarki ná gildunum  $E_2 \geq 110$  Mpa, en fyrir hraun er krafan ögn rýmri, eða að  $E_2 \geq 100$  Mpa. Krafa um hlutfall milli E-gilda kemur fram í töflu 1 í kafla 2.3. Til samanburðar við önnur lönd má sjá þjöppunarkröfur í Noregi í töflu 2 í kafla 2.3.

Helstu gallar við plötupróf eru að þau eru seinleg, kostnaðarsöm, og gefa ekki heildaryfirsýn yfir þjöppun á allri vegbyggingunni. Niðurstöður plötuprófs gefa ekki nákvæmt yfirlit um gæði þjöppunar en gefa góða mynd af þjöppun og stífleika á staðbundnum svæðum þar sem einnig er stuðst við langa reynslu af slíkum prófunum. Það getur tekið 30-60 mínútur að mæla einn punkt í plötuprófi og þegar mæla þarf fjölda punkta er það því mjög seinleg aðferð við mat á þjöppun [7],[6].

### 2.2.3 Hallamæling

Hallamæling hefur verið notuð sem aðferð við að meta þjöppun. Mælingin er gerð með hæðarkíki og hæðarstíku þannig að punktar á þjöppunarsvæði eru teknir fyrir og eftir þjöppun og gildi þeirra skráð. 10 punktar eru skráðir í þremur þversniðum með 5-10 metra millibili. Krafa er gerð um að meðaltals sig yfirborðs fyllingar á milli næstsíðustu og síðustu yfirferðar valdara skal vera minna en 10% af heildarsigi sem orsakast af þjöppun [8].

Hæðarmælingin er því gerð áður en þjöppun hefst og svo aftur eftir að valti hefur farið tilskyldar umferðir. Þá þarf að gera mælingar, láta valta fara eina umferð enn og mæla aftur. Ef ofangreindar kröfur eru uppfylltar, er verkið samþykkt og þjöppun þykir fullnægjandi.

## 2.2.4 Rúmþyngdarmælingar.

Rúmþyngdarmælingar eru notaðar til að mæla rúmþyngd þjappaðs jarðefnis. Hægt er að leggja mat á þjöppun þegar niðurstöður *Proctor* prófs eða hristiborðsprófs eru til viðmiðunar. Því hærri sem rúmþyngd er því betri telst þjöppunin vera. Framkvæma þarf próf á rannsóknarstofu á þeim jarðefnum sem unnið er við til þess að prófin geti hentað til daglegs eftirlits [9].

Helstu rúmþyngdarmælingar og próf eru:

- Sandkeilupróf
- Vatnsblöðrupróf
- Sívalningsrúmmálmæling
- Ísótópamæling

## 2.3 Þjöppunarkröfur

Mismunandi þjöppunarkröfur eru í verkum. Við gerð mjórra sveitavega þar sem umferðarálág er lítið þarf ekki að gera eins mikla kröfur eins og þegar um er að ræða breiða og langa vegi sem eiga að þjóna mikilli umferð.

Plötupróf hafa mikið verið notuð hérlandis til að staðfesta þjöppun. Kröfur íslensku vegagerðarinnar úr Alverk 95 [8] eru skv töflu 1. Miða skal við að meðaltal 6 plötuprófa sem tekin eru í röð standist kröfur. Þjöppunarkröfur skv plötuprófi fyrir vegagerð í Noregi eru skv töflu 2 og tíðni þeirra skv. töflu 3 [10]. Kröfurnar eru meiri en á Íslandi og gilda óháð gerð vega.

**Tafla 1** Þjöppunarkröfur við plötupróf á Íslandi [8]

Þjöppuprófun Plötupróf skv Alverk 95	E <sub>2</sub> (Mpa)	Vegflokkar	
		A-B2 E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>	B3-C E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>
Styrktarlag			
Burðarlag úr hrauni	100	< 2.5	< 3.5
Annað efni ekki úr hrauni	110		
Burðarlag			
Burðarlag úr hrauni	100	< 2.5	< 3.5
Annað efni ekki úr hrauni	120		

**Tafla 2** Þjöppunarkröfur við plötupróf í Noregi [10]

Þjöppuprófun Plötupróf Noregur	E <sub>2</sub> (Mpa)	E <sub>2</sub> /E <sub>1</sub>
Burðarlag	> 150	< 2.5

**Tafla 3** Tíðni þjöppuprófa í vegagerð, norskar kröfur [10]

	Valti án stöðugs þjöppugreiningarbúnaðar	Valti með stöðugan þjöppugreiningarbúnað
Plötupróf	1 próf á 100 m millibili	1 próf á 250 m millibili



## 2.4 Þjöppuáætlun

Megin tilgangur með þjöppun er að auka stífnis og styrk jarðefna. Í sumum tilvikum er nauðsynlegt að skipta útlagningu í lagþykktir til að ná fullnægjandi þjöppun. Í vegagerð þar sem mikið magn af fyllingarefnum er lagt út er mikilvægt að gera þjöppuáætlun áður en þjöppun hefst. Þjöppuáætlun er skipulagning og undirbúningur verktaka fyrir þjöppunarvinnu.

Skipuleggja þarf þjöppun á hverju efnilagi fyrir sig í samræmi við tegund efnis sem á að þjappa. Þjöppunarvinnu á að vinna á láréttum fleti og lagþykkt þarf að vera í samhengi við stærð þess valtare sem nota á . Ef notaður er stór valtari með öflugum titringi til að þjappa þykkt lag af fyllingu verður að huga að því að efsta lag fyllingar getur brotnað niður þegar fullri þjöppun hefur verið náð vegna þess mikla krafts sem kemur frá valtaratromlu. Því er mikilvægt að skipuleggja vinnu við þjöppun og gera nákvæma þjöppuáætlun sem tryggir meðal annars að öllu svæðinu sé skipt upp í mismunandi kafla þar sem lagþykktir og valtarabúnaður hæfa verkefninu. Rakainnihald jarðvegs og vökvun er skráð í þjöppuáætlun því vatn gerir það að verkum að auðveldara er fyrir korn að ná saman og þjöppunarvinna verður minni [10],[1]. Sjá nánar umfjöllun í kafla 2.7.

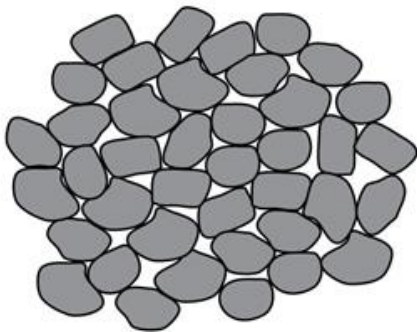
Þjöppuáætlun skal innihalda eftirfarandi upplýsingar:

- Fyrri þjöppun á efni sem er til staðar
- Gerð efnis sem á að þjappa
- Lag þykkt efnis
- Gerð valtare og búnaður
- Hraði valtare
- Valtara mynstur – Tíðni , sveifluhæð
- Fjöldi ferða yfir svæði
- Sérstakar ráðstafanir ef þjappa á yfir lagnir eða byggingar

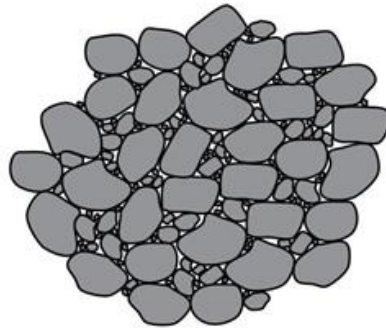
Í viðauka 1 er dæmi um uppsetningu á þjöppuáætlun fyrir verktaka.

## 2.5 Þjöppun mismunandi efna

Þjöppun á jarðefnum er háð eiginleikum þeirra steinefna sem þjappa á saman. Stærð steina og kornadreifing efnis hefur mikil áhrif á þjöppun. Mismikla þjöppunarorku þarf að nota háð gerð þess jarðefnis sem á að þjappa. Meiri orku þarf til þess að færa stóra steina en lítið korn af sandi. Stórir steinar hafa þó ekki endilega meiri styrk en efni með minni korn. Vel flokkað efni nær háum þéttleika þar sem minni steinar fylla holrými á milli stærri steina. Ef ekki er notað vel flokkað efni fyllir loft og vatn það holrými sem myndast á milli steina. Ekki eru endilega tengsl á milli þéttleika og stífnieiginleika efnis. Opið efni getur haft mikla stífni þótt að þéttleikinn sé ekki eins hár eins og orðið getur í flokkuðu efni. Óflokkað efni getur verið erfitt að þjappa vegna þess að efnið er ekki nógu stöðugt og steinar og korn rúlla hvert á móti öðru. Kornalögun jarðefnis einkennist af breiddar og þykktarlögun steinkorna. Þunnt og breitt efni þarf meiri samþjöppunarorku en efni sem eru teningslaga [1].



Mynd 9 Ó flokkað efni [1].



Mynd 10 Flokkað efni [1].

### 2.5.1 Þjöppun við breytilegar jarðvegsaðstæður

Taka þarf tillit til þess undirstöðugarðvegs sem fyrir er á framkvæmdarsvæði en hann getur haft áhrif á þjöppunarvinnu. Til dæmis geta misjöfnur verið í undirlagi, stutt í klapparyfirborð og undirlagsefnið vatnsósa. Þegar fyllt er í vegbyggingu sem er staðsett í bratta þarf að huga að því að þjöppun getur þurft að vera minni vegna lítils stöðugleiga í undirlaginu [1].

Stífleiki undirlags sem fyrir er á framkvæmdarsvæði hefur mikil áhrif á gæði þjöppunar á efnunum sem koma ofaná. Ef undirlag gefur eftir er erfitt að ná góðri og fullri þjöppun.

Veikt silt og leir efni eru mjög frábrugðin steinfyllingu þegar horft er til þjöppunar. Þegar þjöppun er framkvæmd á efni sem lagt er ofaná undirlag úr silt og/eða leirefnum getur það leitt til tjóns á nálægum byggingum ef um slíkt er að ræða. Einnig tapast þjöppunarvinna ef titringur fer niður í óstöðugt undirlagið. Erfitt getur verið að komast hjá þessu nema unnið sé með stöðugan þjöppugreiningabúnað. Hætta getur skapast þegar álag er sett á yfirborðið.

Hátt vatnsinnihald í undirstöðuefni getur leitt til erfiðleika í þjöppunarvinnu. Þegar fyllingin er þjöppuð fara slögin frá valtaranum niður í fínkorna undirfyllingu sem er mettuð af vatni og eykst þá þórúprýstingur sem dregur úr burðargetu og fyrirbæri sambærilegt ysjun getur átt sér stað.

Vatnsflæði í jörðu, bæði hvað varðar grunvatnshæð og yfirborðsvatn, er breytilegt yfir árið vegna veðurs og úrkomu. Á svæðum sem mikið vatnsinnihald er í undirfyllingu getur verið gott að skipuleggja þjöppun á þurru tímabili þegar minna vatn er í jarðvegi [1].

Óvissa getur orðið um árangur þjöppunar í frosti þó svo að efni sé ekki frosið þegar það er tekið óhreyft úr námu. Vatn í holrými steinefnis og yfirborðsvatn á efniskornum getur frosið við flutning efnis og komið í veg fyrir að sú þjöppun sem stefnt er að náist. Efni sem þjappað er við slíkar aðstæður fær ekki fullnægjandi þjöppun fyrr en það þiðnar og þá getur orðið sig eða óstöðugleiki í efninu.

## 2.6 Lagþykkt fyllingarefnis

Æskileg lagþykkt fyllingar þegar þjappað er þarf að miðast við þyngd búnaðar og þá sveifluvidd sem notuð er. Mikilvægt er að leggja út fyllingarefni með viðeigandi þykkt og aðlaga valtara vinnu að því. Á mynd 6 er sýnd hámarks lagþykkt mismunandi efna miðað við þyngd þjöppubúnaðar [1].

Í þeim tilvikum þegar stór valtari er notaður til þess að þjappa þykkt efnislag verður að huga að efsta laginu sem mun ekki þola þann mikla kraft sem verður þegar þjöppun er náð. Getur það valdið því að efnið molnar niður og mun ekki ná þeim styrk sem stefnt er að. Því ber að varast að þjappa of þykkt lag með þungum valtara nema nauðsyn krefjist en leggja efni frekar út í mörgum lögum þannig að lægri þjöppunarorku þurfi til þess að þjappa hvert lag. Þannig næst nægjanleg stífni án þess að efsta lag þess efnis sem verið er að þjappa sé eyðilagt.

Annar möguleiki í þessu tilviki getur verið að hafa viðbótarlag umfram það sem á að nota sem yrði þá fjarlægt eftir þjöppun. Það er hinsvegar kostnaðarsamt en getur verið lausn ef ekki er hægt að leggja út fyllingarefnið í mörgum lögum eða ef ekki er aðgangur af minni valtaraþúnaði.

Við þjöppun á jöfnunarlagi eða klæðningarlagi þarf að tryggja að efnið þjappist ekki of mikið. Til þess að viðloðun jöfnunarlagsins nái við lagið sem það fer ofaná þarf að skipuleggja þjöppunarvinnuna vel þannig að full þjöppun á neðra lagi náist með jöfnunarlagini.

Fyllingar sem byggðar eru upp af núnings jarðvegi ættu alltaf að vera byggðar upp í lögum. Steinfyllingar er hægt að fylla upp ef hæð er ekki meiri en 6 metrar og þjöppun er þá gerð á efsta eins eters laginu. Ef fylling er hærri en 6 metrar verður að þjappa í 1-2 metra lögum alla fyllinguna [1].

Þar sem verulegar rúmmálsbreytingar verða á jarðefnum við þjöppun verður að bæta við yfirhæð á það til að fá rétta lagþykkt. Í töflu 4 er áætlun um viðbótar lagþykkt á efni sem verður að bæta við ofaná til að fá rétta lagþykkt áður en það er þjappað [1].

**Tafla 4** Yfirhæð efnis áður en þjappað [1]

Grjót	Sandur og grús	Silt og fínefnarík efni	Leir
25%	33%	50%	75%

## 2.7 Rakainnihald

Núningskraftur sem virkar á milli steinkorna hefur áhrif á það hversu auðveldlega tekst að endurraða efniskornum með þjöppun. Með vatni er hægt að minnka núningskraftinn og tryggja að góð þjöppun náist. Vatnið gerir það að verkum að auðveldara er fyrir korn að ná saman og á það við um allan jarðveg. Steinefni þurfa að hafa nægt rakainnihald meðan á þjöppun stendur. Í mörgum tilvikum þarf vökvun fyrir og á meðan samþjöppun stendur yfir. Ef um fínmalaðan jarðveg er að ræða er mikilvægt að það sé hvorki of mikið né of lítið vatn til staðar. Slík efni ná þéttleika í samræmi við vatnsinnihaldið og þarf það því að vera innan tilskilinna marka [1].

Við þjöppun á grófu efni þarf ekki að hafa áhyggjur af of háu vatnsinnihaldi. Gróf og einsleit mól heldur ekki vatni og er drenerandi. Gott er að nota vatn við þjöppun þannig efnis til þess að minnka núning milli steina.

Mulið efni með skörpum köntum byggir upp mikinn núning milli korna en það gefur efninu góðan styrk og stífni þegar það er þjappað. Til þess að þetta náist verður að notast við vökvun svo efnið molni ekki niður og verði rúnað. Samsvarandi efni með rúnuðum köntum veitir ekki eins mikinn styrk og því er kostur í vegagerð að nota mulið efni með skörpum köntum.

Þegar unnið er á veturna eða við frost ætti að forðast að þjappa fyllingarefni, sérstaklega fyllingarefni sem hafa hátt rakainnihald. Aldrei ætti að vera snjór í fyllingarefni sem gæti leitt til sigs í fyllingu þegar frost fer úr jörðu [1].

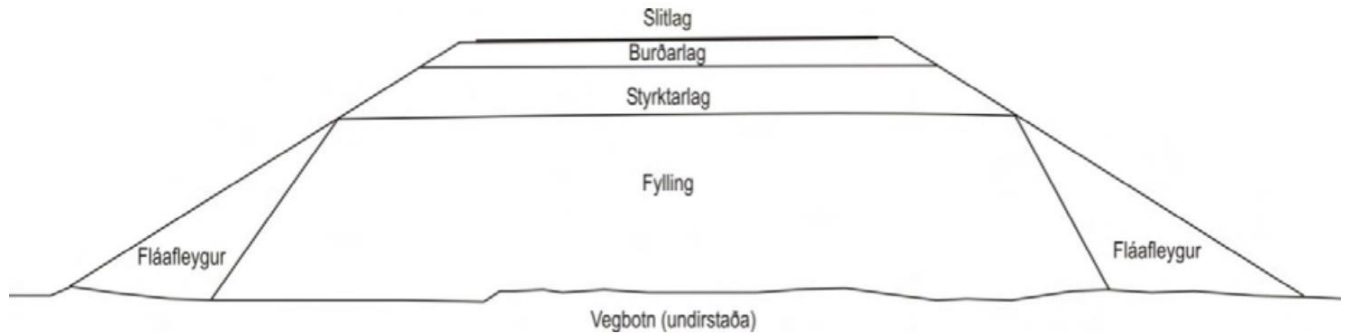
Fyllingarefni sem metið hefur verið sem nothæft efni getur komist í ónothæft ástand sökum breytinga á rakainnihaldi. Þetta á einkum við um fínkorna efni, þar sem magn fínafna með þvermál minna en 0,063 mm er hátt. Ekki er hægt að þjappa of rakt efni. Þess vegna er brýnt að gripið sé til nauðsynlegra aðgerða til að hæfilegt rakastig sé uppfyllt við útlögn. Í þessu felst sú krafa að fyllingarefnið skuli þurrkað eða vökvað svo það sé lagt út við hæfilegt rakastig. Ef efni sem komið hefur verið fyrir í fyllingu er of rakt til að það taki þjöppun sem krafist er, mætti framkvæma eitt af eftirfarandi atriðum [7]:

- 1) Fjarlægja efnið úr fyllingunni og geyma þar til það er komið í það ástand að nota megi það aftur og fylla í staðinn með nothæfu efni.
- 2) Bæta efnið með vélrænum eða efnafræðilegum aðferðum til að auka stöðugleika þess.
- 3) Bíða þar til ástand efnisins er aftur orðið slíkt, að unnt sé að jafna það og þjappa á þann hátt, sem krafist er.

## 2.8 Almenn útfærsla á þjöppun á fyllingu

Hefðbundinn vegur skiptist í undirbyggingu og yfirbyggingu, sem saman er nefnt veghlot. Undirbyggingin er vegbotn og vegfylling. Yfirbyggingin er gerð úr styrktarlagi, burðarlagi og slitlagi. Á mynd 11 er yfirlit helstu hluta veghlots [7].

Góð þjöppun á fyllingarefnum fæst með lagþykktum og valtarabúnaði samkvæmt töflum 5 og 6. Áður en þjöppun hefst skal gerð þjöppunaráætlun skv kafla 2.4.



Mynd 11 Skematísk mynd af uppbyggingu vegar.

### 2.8.1 Fylling

Aðalhlutverk fyllingar er að vera undirstaða undir berandi hluta veghlotsins. Hún jafnar vegbotninn og undirbyggingin fær þannig rétta hæð áður en vinna við yfirbygginguna hefst. Allar megin efnisgerðirnar þ.e.a.s. set, storkuberg og endurunnin efni eru notaðar í fyllingar. Algengar setgerðir í fyllingum eru t.d. sandur, möl, skriðuefni og jökulruðningur, en einnig er algengt að sprengt berg, til dæmis úr skeringum, sé notað sem fyllingarefni. Í þéttbýli er byggingaúrgangur stöku sinnum notaður sem fyllingarefni og nokkuð algengt er að efni úr gömlum vegum sé nýtt. Við góðar aðstæður er hægt að nota allt útgrafið efni sem ekki er um of blandað lífrænum efnum í fyllingu. Ástand efnisins þegar það er sett í fyllinguna skiptir líka máli og það má ekki vera frosið í köggla eða blandað ís eða snjó. Ekki má nota lífræn efni úr móm og múrum sem fyllingarefni. Ef fyllingarefni er of blautt til að hægt sé að koma því fyrir í vegfyllingum og þjappa það getur þurft að haugsetja efnið til að þurrka það. Fyllingar eru lagðar út í lögum og er þykkt hvers lags þá miðuð við að nægjanleg þjöppun náist í því. Fyllingarefni með ólíka eiginleika skal leggja í lárétt aðskildum lögum þannig að burðarmeira efnið sé ofar í fyllingunni. Efstu 1000 mm fyllingarinnar skulu vera úr efni sem er nægilega lekt og yfirborð undirbyggingar á að vera nægilega opið til að vatn safnist ekki fyrir á yfirborði hennar [7].

Fyllingu skal leggja í lögum og þykkt hvers lags ákvarðast fyrst og fremst af búnaði til þjöppunar. Hvert lag fyllingar nær yfir alla breidd hennar. Ekki skal hefja útlögn styrktarlags fyrir en gerð undirbyggingar hefur verið tekin út og samþykkt. Ef vegbotn er úr mjúkum efnum (t.d. múri) getur verið erfitt að ná tilskilinni þjöppun og ber verktaka að velja valtara sem henta slíkum aðstæðum.

Í töflum 5 og 6 eru upplýsingar um val á þjöppunarbúnaði , fyllingarefni og tilsvareandi lagþykktum. Upplýsingarnar í töflunni má einnig nota, þegar þjöppun er metin. Ekki er hentugt að nota valtara með tvær tromlur til að þjappa undirfyllingu.

**Tafla 5** Þjöppun á fyllingu , val á valtarabúnaði við mismunandi aðstæður [10]

Fyllingarefni	Raki	Valtarabúnaður	Statísk þyngd (kg/cm)	Þyngd (Tonn)	Lagþykkt eftir þjöppun (mm)	Ferðafjöldi
Sprengt grjót		Valtari með eina tromlu	>45	>13	Lagt út á haug fyllingu	10
			>30	>9	500-2000	5
Grús , sandur , drenerandi efni	Blautt	Valtari með eina tromlu	>30	>9	200-600	4-6
	Þurt	Valtari með eina tromlu	>30	>9	200-300	8
Finn sandur silt , jökulruðningur	Blautt	Beltavél		10-20	200	2-4
	Þurt	Valtari með eina tromlu	>30	>9	200	4-6
		Hjólavél / vörubíll			25-70	200
Leir	Blautt	Beltavél		10-20	200	2-4
	Þurt	Hjólavél / vörubíll		40	200	2-4

Ef eftirlit með þjöppun byggir á talningu yfirferða er æskilegt að valtar séu búnir stöðugum þjöppustjórnunarbúnaði sem tengdur er við staðsetningarbúnað. Slíkur búnaður eykur verulega líkur á því að allt yfirborð vegarins hafi verið þjappað með fullnægjandi hætti.

Sé fylling sett ofan á mýri, skal neðsta lag fyllingar vera gert úr frostfríu efni. Einnig þarf að gæta þess að rífa ekki upp svörðinn, t.d. þegar stórgrýti er í fyllingarefninu. Yfirborð fyllingarlags á að vera þannig að efni úr því blandist ekki efni í styrktarlagi, eða að styrktarlagsefni tapist ofan í fyllinguna [7].

Gróf fyllingarefni eins og sprengt grjót er hægt að nota í neðraburðarlag frá botni uppgraftrar og upp undir síðasta meterinn undir yfirborði vegar. Þjöppun á grjótfyllingum er háð kornalögun , styrk og kornasamsetningu. Efnisstyrkur grjótfyllinga þarf að vera nægjanlegur til að þola ásett álag [9].

Þjöppun á fínefnaríkum efnum eins og leir , silt eða jökulruðningi á að þjappa í litlum lagþykktum með lága sveifluvídd. Einnig er gott að þjappa leir án titrings í upphafi. Ef leirfyllingar eru þjappaðar með þungum valtara og hárrí sveifluvídd dregur það úr styrk hans og bindingu. Fylling á leir skal leggja út í 20 cm lögum. Fylling á leirefni skal aðeins notað við sérstakar aðstæður [1].

Auðvelt getur verið að grafa silt og fínefnaríkan jarðveg á veturna og þegar frost er í jörðu því þá geta afköst verið meiri vegna auðveldara aðgengi fyrir vinnuvélar. Varasamt er að vinna við þjöppun við þannig aðstæður [10].

Niðurstöður úr plötuprófi eru taldar bestar við úttektarmælingar en hægt er að nota rúmþyngdarmælingar fyrir fyllingarefni úr fínefnum með kornastærð minni en 50 mm.

## 2.8.2 Styrktarlag

Styrktarlag er á milli fyllingar og burðarlags. Þykkt lagsins getur verið nokkuð breytileg en oftast 20 til 50 cm.

Hlutverk styrktarlags er ásamt burðarlagi, að dreifa umferðarálagi á undirbygginguna þannig að ekki komi fram formbreytingar á slitlaginu. Meiri kröfur eru gerðar til efnis í styrktarlag, en fyllingar. Í styrktarlag eru notuð eins góð efni og völ er á og ef notuð eru misgóð efni skal nota betra efnið í efri hlutann. Efnisgerðir sem koma til greina eru bæði set og berg.

Sprengt grjót úr námum og skeringum er í vaxandi mæli notað í styrktarlag. Grjót sem springur að verulegu leyti niður í kornastærðir sem eru minni en 200 – 250 mm í þvermál er oft hægt að nota án frekari vinnslu, en það er þó háð þykkt styrktarlagsins.

Styrkur korna í styrktarlagi er mikilvægur eiginleiki, enda getur álag á slíkt efni verið mikið, sérstaklega við útlögn, völtun og vinnuumferð. Hætta er á að veik steinefni molni niður undan álagi. Ef steinefnið er mjög ummyndað myndast fínefni við niðurbrotið, sem hætt er við að sé vatnsdrægt og frostnæmt og þannig skaðlegt fyrir burðarþol vegarins.

Beita skal sjónmati. Ef einhver grunur leikur á að efnið sé gallað á einhvern hátt, eða standist ekki kröfur sem gerðar eru, þarf að taka sýni af efninu og prófa þau. Þegar búið er að leggja efni út og þjappa, þarf að kanna hvort þjöppun er nægileg.

Þegar styrktarlag er þjappað skal ávallt miða við lágmarksgildi í samræmi við efni og þykkt laga, eins og fram kemur í töflu 6. Upplýsingarnar í töflunni má einnig nota, þegar valtarar og völtunaraðferðir eru valdar.



**Tafla 6** Leiðbeiningar um val á þjöppubúnaði og fjölda yfirferða [10].

Þjöppunarbúnaður			Óbrotið efni Grús, sandur		Brotið efni Grús, púkk	
Gerð valtara	Heildarþyngd búnaðar (Tonn)	Statísk þyngd (kg/cm)	Lagþykkt (m)	Lágmarks fjöldi yfirferða	Lagþykkt (mm)	Lágmarks fjöldi yfirferða
Valtari með eina tromlu	6-8	15-25	≤400	8	≤200	5
					200-400	7
	8-10	25-35	≤400	7	≤200	4
			500	8	200-400	7
					400-500	8
	10-13	35-45	≤400	5	≤200	4
			500	6	200-400	5
					400-500	6
	>13	>45	≤400	3	≤400	3
			500	4	400-500	4
Valtari með tvær tromlur	2-4	15-25	200	6	200	6
	4-8	15-25	300	5	400	6
	8-13	25-35	400	5	400	5

Efnið skal lagt í lögum ekki þykkari en 1,0 m og þjappa þarf hvert lag með minnst sex yfirferðum með dregnum titurvalta minnst fimm tonna þungum eða öðru verkfæri sem hefur verið samþykkt. með tilliti til efnis og lagþykkt. Í sérverklýsingu/útboðslýsingu geta verið sett nánari ákvæði um lagþykkt, þyngd og hraða valta og fjölda yfirferða.

Æskilegt er að valtar séu búnir stöðugum þjöppugreiningarbúnaði eins og fjallað er um í kafla 4. Mótstöðugildi úr valtara eru þá skráð og kvörðuð við upplýsingar úr plötuprófum þar sem þau hafa verið tekin við sömu aðstæður.

Ef ekki er stöðugur þjöppustjórnunar­búnaður í valtara, ætti að meta árangur þjöppunarinnar með plötuprófi eða í undantekningartilvikum með rúmþyngdarmælingu ef um fínkornaefni er að ræða. Kröfur um niðurstöður plötuprófs og tíðni þeirra má sjá í töflum 1 og 3. Mælingar eru gerðar að minnsta kosti á þremur mismunandi stigum þjöppunar. Taka á að lágmarki þrjár mælingar á hverju stigi [10].

### 2.8.3 Burðarlag

Burðarlagið er næsta lag undir slitlaginu og tekur upp álagið af umferðinni og dreifir því niður á styrktarlagið, og þau saman niður á fyllinguna. Hlutverk burðarlagsins er að koma í veg fyrir formbreytingar í slitlaginu og því þarf það að vera stíft og stöðugt. Jafnframt þarf burðarlagið að vera nægilega lekt til að ekki safnist í það vatn og það verður einnig að vera ónæmt fyrir frostáhrifum. Það gildir þó ekki um burðarlag malarvega, en mikilvægt er að það sé þétt með hæfilegu fínefnamagni (en þó ekki frostnæmt) til að raki haldist í slitlaginu.

Efni sem notað er í burðarlag vega er yfirleitt unnið með mölun og sigtun. Um er að ræða set (laust efni), berg og endurunnið efni. Hver efnisgerð getur svo verið mismunandi eftir vinnsluáferð, s.s. hvernig efnið er malað og hvort það er unnið frekar á einhvern hátt.

Gerð og uppbygging burðarlags er verulega háð því slitlagi sem fyrirhugað er að nota á veginn. Útlögn burðarlags má ekki hefjast fyrr en gerð styrktarlags hefur verið tekin formlega út og samþykkt. Við þjöppun á burðarlagi er fjöldi yfirferða valta ávallt talinn og skráður og miðað við lágmarksgildi í samræmi við efnið og lagþykktir, eins og fram kemur í töflu 6. Töfluna má einnig hafa til hliðsjónar, þegar valtarar og völtunaraðferðir eru valdar fyrir mismunandi efni og lagþykktir [7].

Við þjöppun á yfirborðsefnum eins og púkkefni og mulning verður að tryggja að efni brotni ekki niður af óþörfu með ofþjöppun eða að of þungur valtari sé notaður. Slökkt á að vera á titringi á svæðum sem hafa náð fullri þjöppun þegar ekið er yfir þau.

Ef valtað er jöfnunarlag undir malbik á að fara tvær umferðir í lokin án titrings þannig að undirlag sé slétt þegar malbik er lagt á.

Fyllingarefni skal þjappað jafnt og skörun skal vera á svæði sem þjappað er til að tryggja samræmdan stífleika á svæðum sem eru breiðari en tromlu breidd. Ökuhraði við þjöppun skal vera 3-6 km/klst [1].

Þegar búið er að leggja efnið út og þjappa það, er kannað hvort þjöppunin sé nægileg með plötuprófi, rúmþyngdarmælingu eða hæðarmælingu. Kröfur um niðurstöður plötuprófs og tíðni þeirra má sjá í töflum 1 og 3.

Æskilegt er að valti sé búinn stöðugum þjöppustjórnunarbúnaði, sjá kafla 4. Með því móti fæst mælikvarði á þjöppun alls yfirborðsins sem unnið er með. Slíka mæla þarf þó að kvarða með einhverju af þeim prófum sem nefnd hafa verið, en á móti kemur að fækka má öðrum mælingum sem gerðar eru til staðfestingar á árangri.

## 2.8.4 Slitlag

Slitlagið er efsta lag vegarins. Hlutverk þess er að skapa öruggt og slétt ökusvæði, m.a. þarf að vera tryggt að nægilegt viðnám sé á milli dekkja og slitlags til að hindra að ökutæki renni til á veginum. Slitlagið þarf að þola áraun frá umferðinni, s.s. slit og núningsáhrif frá dekkjum. Það þarf að þola veðrun svo sem frost/þíðu-áraun og vera þétt og hindra sem mest að yfirborðsvatn komist niður í undirliggjandi lög. Slitlög eru af mismunandi gerðum og má flokka þau annars vegar í bundin og hins vegar óbundin slitlög. Efni í malarslitlög hefur nær alltaf verið unnið úr setmyndunum hér á landi, ýmist með mólun og hörpun eða jafnvel eingöngu hörpun. Jarðmyndanir sem hafa oft reynst vel til framleiðslu malarslitlagsefna eru t.d. skriður, aurkeilur og framhlaup. Malarslitlag er sjaldan unnið úr bergi, enda er malað berg oft með lágt fínefnainnihald, sérstaklega í leirstærðunum, auk þess sem það er oft dýrara í vinnslu en efni sem unnið er úr setmyndunum. Nokkuð er þó um að malarslitlag sé unnið úr hraungjalli [7].

Ekki skal nota mjög þunga valta á þunn lög, eða ef hætta er á að efni brotni mikið niður. Þegar slitlag er þjappað skal ávallt miða við lágmarksgildi í samræmi við efni og þykkt laga, eins og fram kemur í töflu 7. Upplýsingarnar í töflunni má einnig nota, þegar valtar og völtunaraðferðir eru valdar. Þjöppumæling fer fram með rúmþyngdarmælingum t.d sandkeiluprófi eða geislamæli.

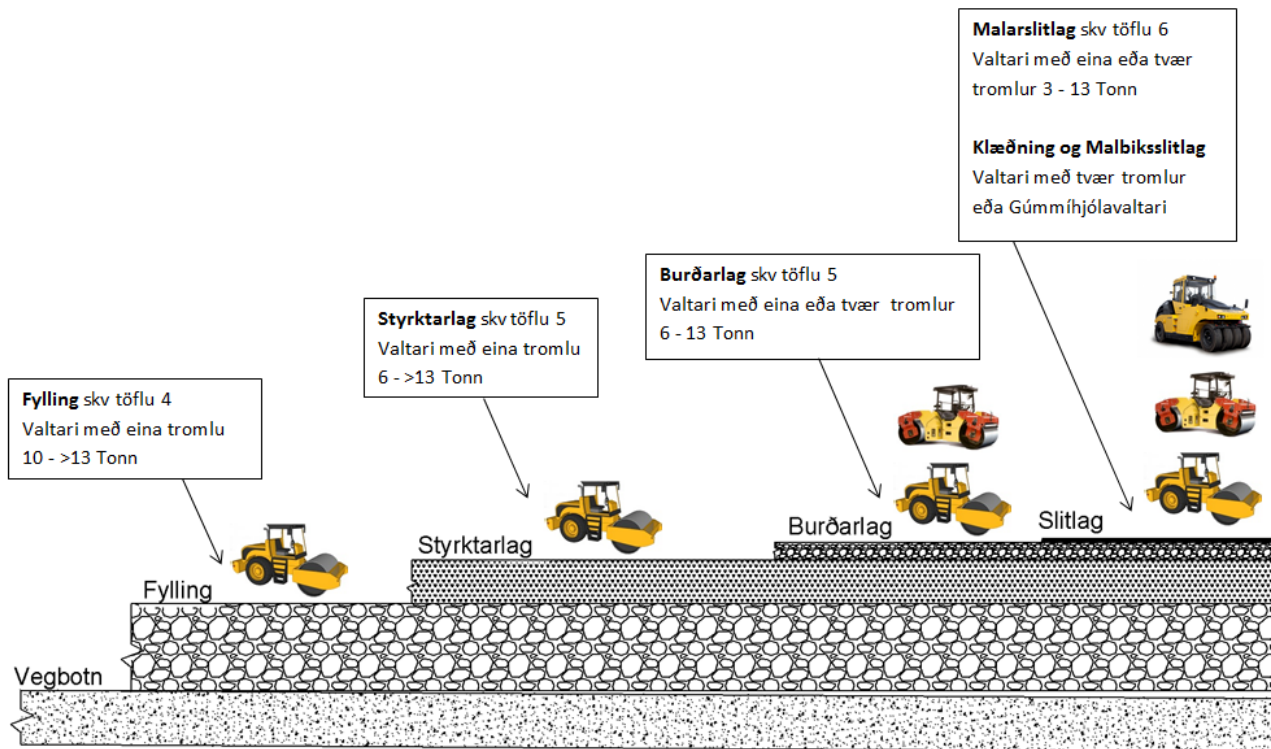
**Tafla 7** Kröfur um lágmarksfjöldi ferða yfir malarslitlag [10]

Þjöppunar Búnaður			Möluð grús eða berg	
Valtara tegund	Heildarþyngd búnaðar (Tonn)	Statísk þyngd (kg/cm)	Lagþykkt (mm)	Lágmarks fjöldi yfirferða
Dreginn titurvalti	3-5	15-25	≤200	5
	5-8	25-35	≤200	4
	>8	>35	≤200	3
Valtari með eina tromlur	6-8	15-25	≤200	5
	8-10	25-35	≤200	4
	10-13	35-45	≤200	4
Valtari með tvær tromlur	2-4	15-25	≤200	7
	4-8	15-25	≤200	5
	8-13	25-35	≤200	4

Fjölmargar tegundir klæðninga eru notaðar víða um heim og því er ekki um að ræða eina gerð eða aðferð við val og hönnun á efnispáttum. Í grunninn er klæðning þó ætíð lögð og framkvæmd með svipuðum hætti, þ.e.a.s. bindiefni er dreift á yfirborð vegar, steinefni dreift þar ofan á og síðan þjappað með gúmmíhjólavalta. Um leið og lokið er við að dreifa steinefninu skal valta yfirborð klæðingarinnar með gúmmíhjólavalta en ef undirlagið er slétt má einnig nota titurvalta með gúmmíklæddri tromlu. Völtun skal haldið áfram þar til steinefnið hefur raðað sér vel og bundist bindiefninu.

Við malbiksútlögn þarf að mæla hitastig þess, þjöppun og þykkt. Að útlögn lokinni þarf að mæla sléttleika slitlagsins og, ef þurfa þykir, hemlunarviðnám. Þessir verkþættir eru oft í umsjá eftirlitsmanns verkkaupa, sem jafnframt sinnir ýmis konar öðru eftirliti við malbiksútlögn.

Hitastig á malbiki verður að ná tilteknu lágmarki, sem er háð bikgerð og íblendi, áður en völtun hefst. Hitastig má mæla á bílpalli á útlagnarstað en er oftast mælt í trogi útlagnarvélar. Völtun verður að vera lokið áður en malbikið kólnar niður fyrir tiltekið hitastig, háð bindiefnisgerð. Til að fylgjast með hitastigi malbikslagsins meðan á völtun stendur getur verið heppilegt að nota stöðugan þjöppubúnað með hitamyndavél (sjá kafla 4.2). Tilgangurinn með mælingu á þjöppun er að ganga úr skugga um að holrýmd í útlögðu malbiki sé innan settra marka [7].



**Mynd 12** Yfirlitsmynd yfir þjöppun á hverju efnislagi vegbyggingar.

## 2.9 Þjöppun við mannvirki

Framkvæma skal fyllingu að veggjum, ræsum og öðrum mannvirkjum með frostfríu efni sem getur ekki haft skaðleg áhrif á mannvirki. Hámarks stærð steina er 30 cm og eiga þeir að dreifast jafnt um svæði næst mannvirki. Við þjöppun meðfram mannvirki skal nota plötubjöppu með hámarksþyngd 300 kg þegar þjappað er mól og sandur. Léttan titringsvaltara hámarksþyngd 1.5 tonn er hægt að nota þegar sprengt grjót er notað í fyllingu. Lagþykkt og þjöppun er háð búnaði og efni. Valtarabúnaður með meiri þyngd en 1.5 tonn skal ekki fara nær veggjum en 7 metra eða fjarlægð sem er jöfn hæð veggjar [10].

Þegar þjappað er með titringi við mannvirki er margt sem þarf að huga að. Mismunandi tegundir af jarðveg leiða titring meira en önnur. Mesti titringur finnst í silt og leirefnum með miklu vatnsinnihaldi. Einnig finnst meiri titringur í frosnu efni heldur en ófrosnu efni.

Tegundir undirstaðna og hönnunarlausnar eru margar og því verður alltaf að huga að því hvernig mannvirki er hannað svo hægt sé að taka ákvörðun um hversu stóran valtarabúnað sé hægt að nota þegar þjappa á í kringum það. Hættan á tjóni verður ávallt að vera ofarlega í huga og öryggis vegalengdir fyrir mismunandi stærðir af þjöppubúnaði þarf að hafa til hliðsjónar. Nauðsynlegar upplýsingar verða að vera til staðar fyrir starfsmenn þjöppubúnaðar þegar þjappað er.

Við þjöppun myndast láréttur þrýstingur sem verkar á mannvirki þegar þjappað er við þau. Styrkleiki lárétta þrýstingsins er misjafn eftir því hvernig þjöppubúnað er verið að nota. Í töflu 8 er samanburður á hámarks láréttum þrýstingi fyrir mismunandi þjöppubúnað og hversu djúpt það nær að þjappa djúpt niður í fyllingu.

**Tafla 8** Hámarks láréttur þrýstingur þjöppunarúnaðar þegar þjappað er við mannvirki [2].

Búnaður	Hámarks láréttur þrýstingur (kN/m <sup>2</sup> )	þjöppun (m)
120 kg þjappa	11.5	0.3
400 kg þjappa	16	0.45
1.4 tonna einnar tromlu valtari	12.5	0.35
3.3 tonna einnar tromlu valtari	19	0.5
5 tonna einnar tromlu valtari	20	0.55
10 tonna einnar tromlu valtari	27	0.75

Fylling kringum og yfir lagnir skal skipuleggja og framkvæma þannig að ekki verði skemmdir eða aflaganir við þjöppun. Meðfram lögnum skal fylla með frostfríu efni og þjappa í lögum samtímis beggja megin við rör. Ekki skal þjappa yfir lagnir fyrr en nægjanlega þykk fylling er komin yfir. Val á búnaði þjöppunar miða við lágmarks þykkt fyllingar yfir lagnir áður en þjöppun hefst er skv töflu 9. Við þjöppun yfir steipt rör gildir tafla 10 [10].

**Tafla 9** Lágmarks þykkt fyllingar áður en þjappað er yfir lagnir önnur en steipt rör [10].

Minnsta lagþykkt yfir röri (m)	Þjöppubúnaður
0.2	Þjappa 200-500 kg
0.3	Þjöppuhoppari <70 kg , Þjappa 201-500 kg
0.4	Valtari með titring 10-15 kN/m
0.5	Þjappa > 500 kg
0.6	Valtari með titring 16-15 kN/m
1.2	Valtari með titring 26-40 kN/m
1.8	Valtari með titring 41-55 kN/m
2.4	Valtari með titring > 55 kN/m

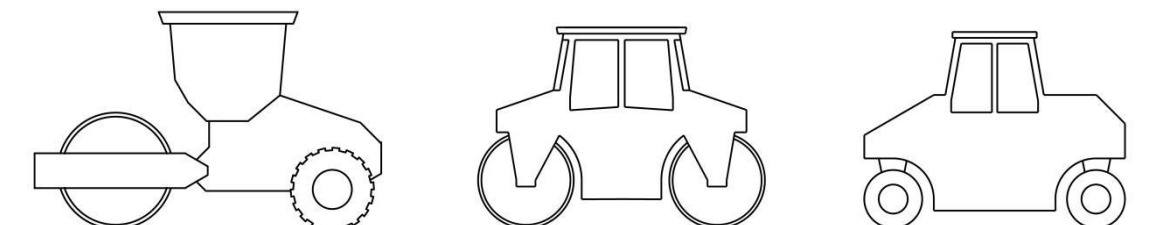
**Tafla 10** Lágmarks þykkt fyllingar áður en þjappað er yfir steipt rör [10].

Minnsta lagþykkt yfir steiptu röri (m)	Þjöppubúnaður
0.2	Þjappa 200-700 kg
0.3	Þjöppuhoppari <70 kg , Þjappa 201-500 kg
0.5	Valtari með titring 10-15 kN/m
0.6	Þjappa > 500 kg
1.2	Valtari með titring 16-15 kN/m
1.8	Valtari með titring 26-40 kN/m
2.4	Valtari með titring 41-55 kN/m

### 3 Þjöppubúnaður

Þjöppun í stórum vegagerðarverkefnum er framkvæmd með einum eða fleiri völtara. Þessir völtarar eru ýmist með einni tromlu ,tveimur tromlum eða gúmmíhjólavöltarar.

Mikilvægt er er að ákveða hvaða völtarabúnaður er valinn í verk með tilliti til gerðar fyllingarefnis og lagþykktar. Völtari sem getur þjappað þykkt lag af fyllingu er ekki heppilegur þegar á að þjappa þunnt lag af burðarlagi. Ef notaður er sami völtarabúnaður í þessum tilvikum með sömu stillingum leiðir það til þess yfirborðsefnið losnar upp og er því ekki þjappað eins og það ætti að vera. Besta lausnin í þessum tilvikum er að nota tvo misþunga völtara við þjöppunina. Margir framleiðendur völtara finnast í heiminum en helst má nefna tegundirnar *Bomag* , *Dynapac* , *Sakai* , *Catepillar* og *Amman/Case*.



Mynd 13 Dæmi um tegundir völtara [1]

#### 3.1 Einnar tromlu völtarar

Völtarar með einni tromlu hafa stáltromlu með titringskerfi og tvö hjól að aftan sem knýr hann áfram með vélarafli. Þessa völtara er hægt að keyra með eða án titrings. Mikið úrval er til af þessari tegund af völturum með heildarþyngd á bilinu 3 – 30 tonn. Notkun þeirra felst í að þjappa burðarlög og yfirborðsefni niðrá alltað tveggja metra dýpt en það fer eftir stærð völtara, stillingum titrings og burðarefni.

Mikilvægt er að velja réttan völtara fyrir hvert verk sem unnið er. Þegar stór og þungur völtari þjappar þykkt lag verður að huga að efsta laginu sem mun ekki þola þann mikla kraft sem verður og molnar efnið því niður og mun ekki veita þann styrk sem leitast er eftir. Því ber að varast að þjappa of þykkt lag með þungum völtara nema nauðsyn krefji og leggja efni frekar út í mörgum þynnri lögum og nota léttari völtara.

### 3.2 Tveggja tromlu valtarar

Valtarar með tvær tromlur geta haft heildarþyngd frá 1.5 tonni til 20 tonna. Valtarar sem eru með tvær sléttar tromlur eru meðal annars notaðir til að valta malbik og yfirborðsefni. Þeir hafa takmarkaða getu til að þjappa í hallandi landslagi eða til að þjappa gróft efni.

### 3.3 Valtarar með gúmmíhjólábúnað

Valtarar með gúmmíhjólábúnað að framan og aftan í stað stál tromluna er einnig valkostur fyrir verktaka. Gúmmíhjól hafa slétt yfirborð og staðsetning afturhjóla skarast við framhjól. Valtara með gúmmíhjól er bæði hægt að fá með og án titrings. Valtari með stóra heildarþyngd án titrings veita þétt og slétt yfirborði og eru hentugir að nota við þjöppun á malbiki, klæðningu og þunnum burðarlögum. Þyngd valtara af þessari gerð er hægt að fá frá 3 tonnum til 30 tonna [1].

### 3.4 Þjöppur.

Þjöppur er algengur búnaður til að þjappa á litlum svæðum þar sem stórir valtarar komast ekki að. Einnig eru þær notaðar við þjöppun næst mannvirkjum og meðfram lögnum og ræsum þar sem ekki er leyfilegt að nota stórvirkan þjöppubúnað. Þjöppur eru yfirleitt 0.5-1 meters breiðar og eru 100-750 kg. Einnig er til þjöppubúnaður sem fest er á gröfur.



Mynd 14 Dæmi um þjöppu [11].

### 3.5 Valtarar litlir

Litla valtara með tvær grófar stáltromlur er hægt að nota í skurðum og á minni svæðum þar sem stærri tæki komast ekki að. Þessi tegund af völturum hefur breidd 0.5 - 1 meter og eru á milli 1 til 2 tonn að þyngd [1].



Mynd 15 Dæmi um lítinn valtara [12].

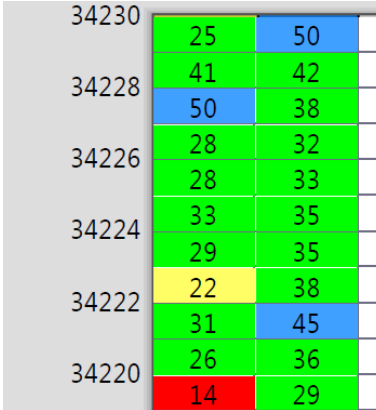


## 4 Stöðug þjöppunarstjórn með mótstöðumælingum

Þegar talað er um stöðuga þjöppunarstjórn er átt við þá nýmóðins tækni þar sem valtari er útbúinn mælakerfi og búnaði sem getur sjálfkrafa kortlagt svæði það sem þjappað er. Notast er við gervitungla móttakara GNSS (*Global Navigation Satellite System*) eða annan búnað sem veitir nákvæma staðsetningu sjá (kafla.4.4). Búnaður af þessu tagi getur einnig haft sjálfvirka greiningu og stjórnað sjálfkrafa sveifluvídd og tíðni valtarans eftir því hve mikil mótstöðu viðbrögð jarðefnisins eru. Nánar er fjallað um sjálfvirka viðbragðsstjórn í kafla 4.5.

Stjórnandi valtara sér á skjá í stýrishúsi rauntíma upplýsingar um hvar er búið að þjappa, fjölda ferða og mótstöðugildi efnis. Búnaðurinn gefur upp mótstöðugildi fyllingar en þau eru mismunandi eftir framleiðendum. Hröðunarmælir er festur á kefli tromlunnar og mælir mótstöðu jarðvegs sem er hreyfifræðilegur stífleiki hans á þann hátt að lóðrétt hröðun tromlu er metin og breytt í boð sem berast í tölvubúnað greiningarkerfis.

Stífleiki jarðvegs er sýndur með mismunandi litgreiningu eftir því hver mótstaða hans er. Mæling á stífni jarðvegs er notuð til að greina breytingar á stífleika milli síðustu tveggja ferða. Hærri mótstöðugildi sem búnaður gefur þeim meiri stífleiki er í fyllingu (sjá mynd 16).



34230	25	50
34228	41	42
34226	50	38
34224	28	32
34222	28	33
34220	33	35
34218	29	35
34216	22	38
34214	31	45
34212	26	36
34210	14	29

**Mynd 16** Skjáskot af upplýsingum sýnir tvær valtarabreiddir yfir eitt lag með meters millibili

Gögn úr greiningarkerfi valtara er hægt að flytja í tölvu tæknimanns eða eftirlits með sjálfvirkum hugbúnaði eða handvirkt með minnislykli (sjá kafla 4.7 um hugbúnað) Með þessu fæst vitneskja um hvort allt svæðið sem unnið var við hefur náð tilskilinni þjöppun og handahófs sýni með t.d plötuprófi getur gilt um allt svæðið ef svipað mótstöðugildi mælast á öllu svæðinu. Úr gögnum sjást greinilega veikburða svæði sem ekki ná sömu þjöppun og önnur svæði og er því hægt að skoða þau nánar og finna ástæðu fyrir því afhverju þau eru ekki að ná sömu þjöppun. Margt getur verið orsökina t.d ef ónothæft efni hefur verið notað , efni getur haft of mikið vatnsinnihald eða lagþykkt er of mikil.

#### 4.1 Mótstöðumælingar

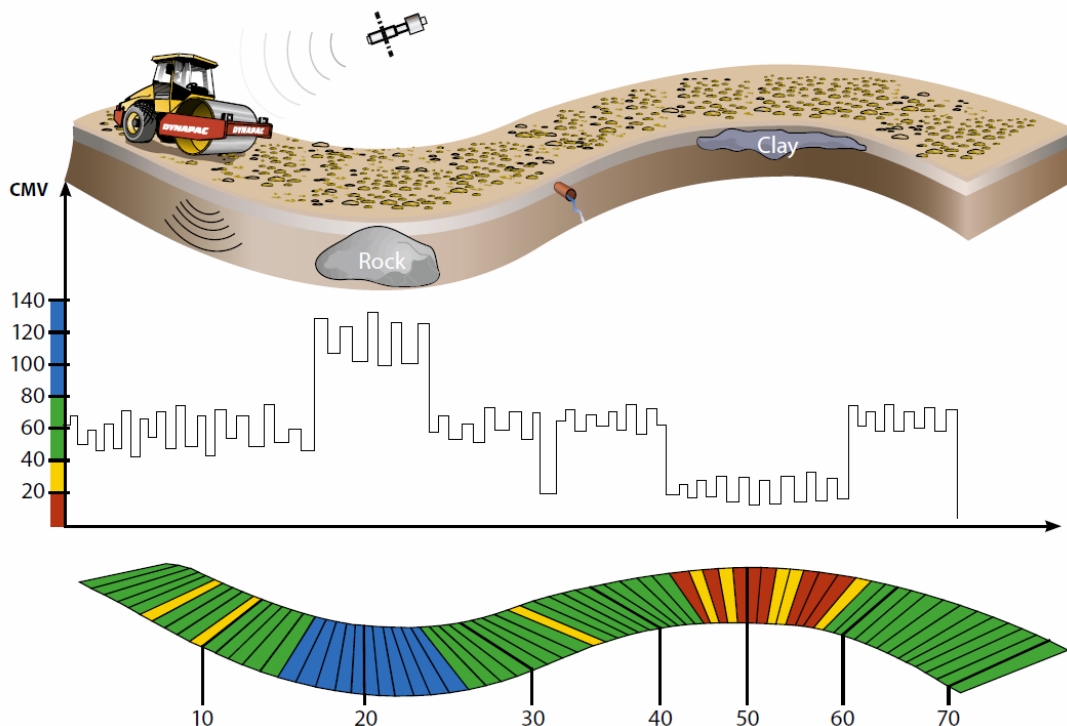
Samverkun er á milli tromluhröðunar og hreyfifræðilegs stífleika jarðvegsins sem breytist með aukinni rúmpýngd. Þjöppunarorkuna sem er yfirfærð í jarðveginn við þjöppun er hægt að ákvarða út frá kröftum sem verka á milli tromlunnar og jarðvegsins. Mótstöðukraftur jarðvegsins er í beinu hlutfalli við statískan öxulþunga valtara annars vegar og miðflóttakrafts mynduðum af hjámiðju- og tregðukröftum sem háðir eru hröðun tromlunnar hins vegar [7].

Mótstöðugildi mælir stífni og þéttleika jarðvegs. Því hærra gildi því meira er það þjappað. Þegar gildi hættir að hækka næst ekki meiri þjöppun. Mikilvægt er að hraði valtara sé stöðugur þegar mælingar eru gerðar. Því minni sem hraði valtara því hærra gildi fæst.

Mismunandi mótstöðugildi eru til og skilgreind fyrir jarðveg. Dæmi um mótstöðugildið CMV (*Compaction meter value*) sem framleiðendur *Dynapac* og *Caterpillar* nota eru sýnd í töflu 11. CMV-gildi fyrir silt og fínefnaríkan jarðveg með háu vatnsinnihaldi er lágt. Fínmalad grúsarefni gefur lægra gildi en grófara efni.

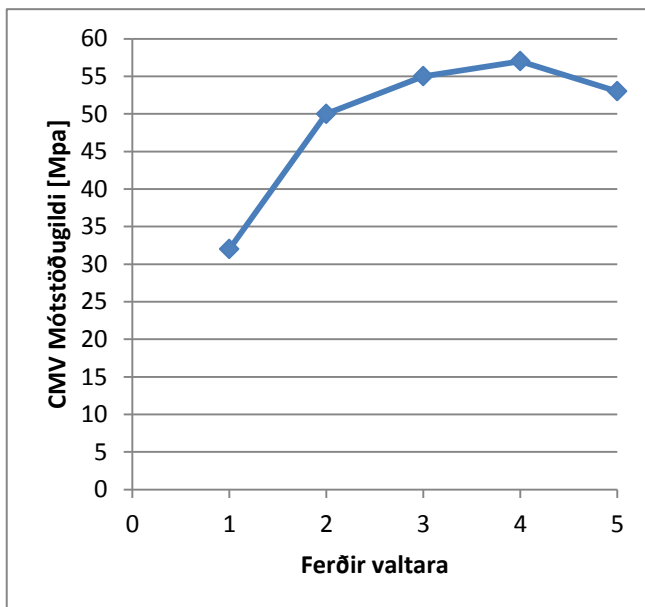
Tafla 11 CMV-mótstöðugildi mismundandi jarðvegsefna [13]

Sprengigrjót	Grús og mulið efni	Sandur	Silt og fínefnarík efni
60-100	30-60	25-50	10-30



Mynd 17 Stöðugur þjöppunarbúnaður. Mótstöðugildi jarðvegs er breytilegt eftir því hvernig jarðvegur er í vegbyggingu [13].

Með því að greina niðurstöður mótstöðumælinga er hægt að ákveða hversu margar yfirferðir er nauðsynlegt að fara til að ná góðum árangri. Til þess að sjá breytingu á mótstöðugildi á sama stað milli ferða er nauðsynlegt að hafa nákvæman staðsetningarbúnað. Ef miklar breytingar eru á milli yfirferða sýnir það að fylling sem er verið að þjappa getur tekið við meiri þjöppun. Ef engin breyting er á milli yfirferða er ekki von um að ná meiri árangri af þjöppun. Athygli skal vakin á því ef mótstöðugildi lækkar milli umferða getur verið um að ræða ofþjöppun sem getur leitt til þess að los verður á efni fari það að molna niður. Breyting í mótstöðugildum á milli umferða ætti að vera minni en 10% þegar þjöppunarvinnu lýkur. Með mótstöðumælingum er hægt að uppgötva veikburða svæði sem eru ekki að ná jafnmikilli þjöppun og önnur svæði. Þegar lesið er úr mótstöðugildum ætti að taka tillit til þess í hvaða átt valtare fer. Munur getur verið á gildum þegar valtara er ekið áfram eða afturábak. Því ætti helst að bera saman þau gildi á svæðum þar sem valtari hefur ekið í sömu átt [1].



Mynd 18 Dæmi um breytingu á mótstöðugildum eftir fjölda yfirferða.

Þættir sem hafa áhrif á mótstöðumælingar eru meðal annars.

- Fyllingarefni er ekki af sömu tegund
- Rakainnihald mismunandi eftir stöðum sem verið er að þjappa
- Sveifluvídd , tíðni , hraði
- Mismunandi tegundir valtarabúnaðar við verk
- Takmarkaður fjöldi plötuprófa eða annarra prófa til samanburðar

## 4.2 Þjöppunarstjórn fyrir malbik

Stöðug þjöppunarstjórn fyrir tveggja tromlu valtara verður flóknari þar sem við það bætist hitaskynjari sem mælir hita malbiks. Þjöppugreining á malbiki er notað sem stjórnunartól og ekki endilega beinn mælikvarði á samþjöppun. Fjöldi ferða er sýndur á korti til að samræma þjöppun á öllu svæðinu. Þjöppun á malbiki þarf að gerast við rétt hitastig og með því að fylgjast með yfirborðshitastigi malbiks gerir það stjórnanda valtara kleift að hafa stjórn á völtun á stórum svæðum. Við malbiksútlögn er mikilvægt að rétt hitastig sé svo að þjöppun náist á malbikinu. Innrauður hitanemi er festur framan og aftan á tveggja tromlu valtara sem mælir hitastig malbiks þegar það er þjappað. Hitastig malbiks birtist á skjá notanda í rauntíma og skráist með staðsetningu þegar notast er við staðsetningarbúnað. Mismunandi litir birtast á skjá stjórnanda um það hversu malbik er heitt og hvort það sé möguleiki á að ná þjöppun á því. Möguleiki er á sjálfvirkri greiningu þar sem til dæmis aðeins er leyft að valta malbik sem er 80°-149° heitt [14].

Að nota stöðuga þjöppugreiningu á malbik fæst betri yfirsýn yfir það sem verið er að gera og hægt er að meðhöndla gögn eftirá til nánari skoðunar. Gæðastýring verktaka verður betri ef búnaður og gögn eru meðhöndluð rétt.



**Mynd 19** Innrauður hitanemi festur á valtara fyrir framan tromlu [14].

### 4.3 Þekking innanlands og utanlands

Lítill reynsla er komin á stöðuga þjöppunarstjórnun hér á landi þó svo að stærri verktakar viti af búnaðinum. Innflytjendur og þjónustuaðilar valtara og mælibúnaðar bjóða upp á búnaðinn og tilheyrandi þjónustu en verktakar hafa almennt ekki nýtt sér þennan búnað nema að takmörkuð leiti. Ástæður á því geta verið að stór vegagerðarverk hafa verið fá á síðustu árum og kröfur um þennan búnað hafa ekki verið settar inn í útboðslýsingar nema að takmörkuðu leiti og yfirleitt ekki gerð sú krafa um form á gögnum sem skal skila.

Árið 2000 notaði verktakafyrirtækið Ístak *Dynapac* valtara með þjöppugreiningarkerfi við framkvæmd á stækkun flugvallar hér á landi þar sem öll fylling í svæði var af sömu tegund. Hugbúnaður skráði mótstöðugildi CMV á hverjum stað sem valtari ók með meters millibili. Plötupróf voru tekin í upphafi verks sem notuð voru til að kvarða mótstöðugildi greiningarbúnaðar valtarans. Úr hugbúnaði var skilað gögnum til að sýna fram á að fylling væri þjöppuð samkvæmt kröfum verkkaupa með samanburði við plötupróf.

Sömu aðferð notar Ístak nú í verkinu *Breikkun Hringvegjar á milli Hamragilsvegjar og Hveragerðis* nema nú með nýrri búnaði. Plötupróf voru tekin í upphafi þegar búíð var að þjappa fyrstu fyllingar. Mótstöðugildi valtara eru kvörðuð við þessi próf og gögnum úr greiningarbúnaði skilað til eftirlits.

Ísmar er þjónustuaðili *Trimble* hér á landi og sérhæfir sig í tækjabúnaði og hugbúnaði til hvers konar landmælinga og annarra mælinga frá þekktustu framleiðendum á því sviði. Hluti af því eru vélstýringar og lasertækni hvort heldur er fyrir verkfræðistofur, verktaka eða ríkisfyrirtæki sem þurfa á þessari þjónustu að halda [15]. Ísmar setti upp einfalt *Trimble* kerfi í einn valtara hér á landi sem hefur nú verið fluttur í vegagerðarverkefni í Noregi því lítið var um stór vegagerðaverkefni hér á landi. Sá búnaður var með GPS-móttakara og gat einungis talið ferðafjölda yfir þau svæði sem voru þjöppuð.

Þekking hér innanlands er því góð en áhugi verktaka fyrir þessum búnaði mætti vera meiri. Söluaðilar og innflytjendur hér á landi þurfa að auglýsa og kynna þennan búnað betur fyrir verktökum.

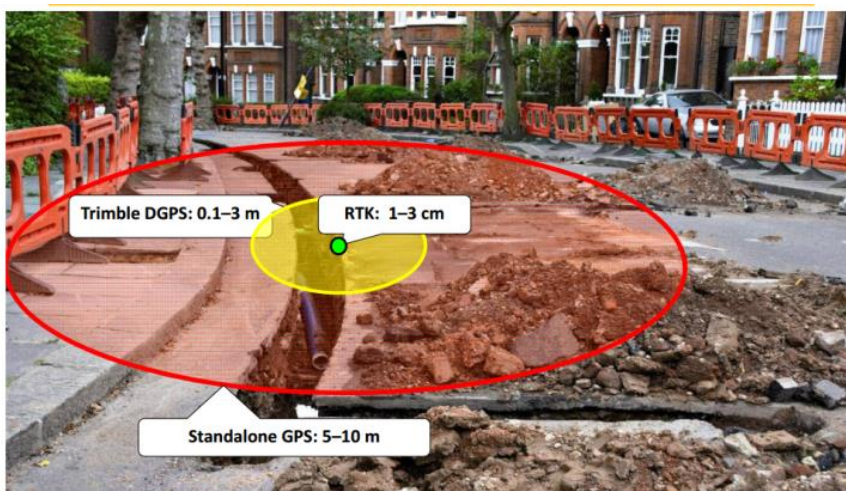
Í Bandaríkjunum hafa verið gerðar margar rannsóknir á stöðugri þjöppugreiningu og öðrum prófunum á burðarlagsefnum. Kynningar hafa verið á valtarabúnaði og þjálfun við notkun hans. Tólf ríki í Bandaríkjunum tóku þátt meðal annars á árumum 2008 – 2010. Samstarf var á milli tæknilega vinnuhópa, eftirlitsaðila, verktaka og valtaraframleiðenda. Framleiðendur valtara veittu mikilvægan stuðning og þjálfun til þeirra sem notuðu búnaðinn og meðhöndluðu gögn með því að sýna hvernig greiningarbúnaður virkaði og hvernig ætti að nota hann. Bæði voru notaðir einnar tromlu valtarar fyrir burðarlagsefni og tveggja tromlu valtara fyrir malbik. Með þessu var byggður þekkingargrunnur á víðtæku sviði með greiningu gagna frá ólíkum verkefnum. Gerður var ítarlegur listi yfir það sem framleiðendur valtara mættu bæta í greiningarkerfum sínum [5].

## 4.4 Staðsetning á þjöppun

Mikilvægt atriði í þjöppugreiningu er að rétt staðsetning sé á þeim stað þar sem mótstöðugildi þjöppunar er skráð og fjöldi ferða sem hefur verið farin yfir svæðið. Þjappa skal eftir vissu mynstri þar sem skörun er á yfirferðum á fyllingunni. Mismunandi kröfur í verkum geta verið um staðsetningu á þjöppun. Mestu kröfur á staðsetningu með GPS búnaði geta verið 3-4 cm í planlegu (x,y stefnu) [5]. Oftast er ekki krafist nákvæmi í hæðarlegu z hnits þótt að flestir tegundir mælibúnaðar bjóða uppá það. Nákvæmni búnaðar verður að vera nægjanlegur þannig að skörun á milli umferða sjáist greinilega í skjáhugbúnaði og að tryggt sé að ekki séu óþjöppuð svæði.

### 4.4.1 Gervitungl og nákvæmni

Nákvæma staðsetningu á þeim stað sem þjappaður er, er hægt að fá með því að nota gervitunglamóttakara. GNSS (*Global Navigation Satellite System*) er almenn skammstöfun notuð fyrir gervitungl. GPS er staðsetningakerfi sem byggist á gervitunglum og móttökurum sem eru á jörðu niðri. Opín sjónlína verður að vera þarna á milli og tengjast þarf að lágmarki fjórum gervitunglum. Nákvæmni GPS getur verið allt frá nokkrum metrum niður í minna en einn sentímetra. Þrjár gerðir eru til af GPS staðsetningarkerfum með mismikla nákvæmni. Sjálfstæð staðsetning hefur nákvæmni upp á 10-15 metra lárétt. DGPS nákvæmni er 0.5 – 4 metra lárétt. GPS faststöðvakerfi hefur nákvæmni uppá 1-3 cm og mælt er með því að nota slíkt kerfi við þjöppugreiningu. Þessari nákvæmni er náð með því að taka á móti leiðréttingamerki frá annari stöð sem er staðsett á jörðu niðri. Nokkrir framleiðendur eru í heiminum sem framleiða og þjónusta GPS búnað fyrir verktaka. Þar má nefna *Trimble*, *Topcon* og *Leica* [5]. GPS er notað við þjöppugreiningu til að skrá hnit valtara á hverjum stað og kortleggja svæði sem valtað er yfir og fá þannig gott yfirlit yfir svæði. Með skoðun gagna sést hvort þjöppun hafi verið gerð rétt og staðsetning svæða sem þurfa athygli eru kortlögð með hnitum. Áður en lokið er við vegbyggingu er hægt að lagfæra þau svæði þar sem ekki lá skýring fyrir afhverju þjöppun náðist ekki í upphafi.



Mynd 20 Nákvæmni mismunandi GPS-kerfa [14].

#### 4.4.2 Staðsetning án gervitungla

Við verk þar sem þjöppun er framkvæmd og ekki næst samband við gervitungl þarf að gera ráðstafanir til þess að staðsetning sé skráð á annan hátt. Hægt er að nota alstöð sem stillt er upp í sjónlínu við svæði sem þjappað er og er þá móttakari alstöðvar festur á valtara í staðinn fyrir GPS móttakara. Framkvæmdir þar sem ekki næst gervitunglasamband geta verið við vegi neðanjarðar eða á svæðum þar sem háar byggingar skyggja á.

Í suma valtara eins og til dæmis *Dynapac* sem ekki er útbúinn GPS staðsetningartæki er hægt að skrá í hugbúnað valtara þegar byrjað er að þjappa í hvaða vegstöð valtari er staddur. Valtari mælir þá sjálfkrafa ekna vegalengd og skráir mótstöðugildi jarðvegs samhliða því. Við þessar aðstæður þegar gögn eru skoðuð sýnir það niðurstöður að í kröppum beygjum er lengra að keyra yst í beygju en ef keyrt innst í beygju. Ónákvæmni á staðsetningu mótstöðugilda geta með þessu verið talsverð og til бага ef finna þarf svæði sem ekki ná tilskilinni þjöppun.

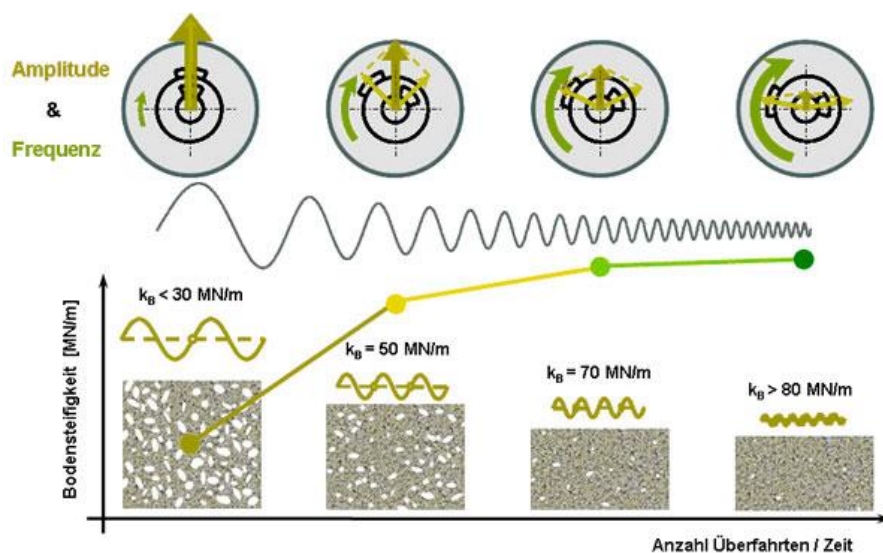
## 4.5 Sjálfvirk viðbragðsstjórn

Sjálfvirk viðbragðsstjórn er greiningakerfi sem aðlagar þjöppunarorku miðað við hver mótstaða á efnisins er. Búnaður aðlagar sjálfkrafa sveifluvídd og tíðni að fyllingarefni sem verið er að þjappa. Því lægri mótstöðugildi sem greiningarbúnaður nemur því meiri þjöppun er framkvæmd. Ef um lítinn þéttleika er að ræða notar búnaðurinn mikla sveifluvídd og lága tíðni. Ef mikill þéttleiki er þá er notast við lága sveifluvídd og háa tíðni (sjá mynd 21). Greiningakerfið getur slökkt á þjöppun (titringi) ef það nemur að hætta er á tromlu stökki sem veldur eyðileggingu á efsta lagi burðarefnis. Sjálfvirk viðbragðsstjórnun er hönnuð til að hjálpa valtarastjórnanda að nýta þjöppustjórnunarbúnað í meira mæli. Ekki bjóða allir framleiðendur valtara upp á sjálfvirka viðbragðsstjórnun í búnaði sínum en þeir sem eru m.a. *Amman/Case*, *Bomag* og *Dynapac*.

Dæmi um *Amman/Case* valtaraþúnað sem hefur þrjár stillingar fyrir sjálfvirka viðbragðsstjórn [5].

- Lág stilling gefur breytilegt álag mest 14 kN með sveifluvídd (a) mismunandi 0.4-1.0 mm
- Meðal stilling gefur breytilegt álag mest 20 kN með sveifluvídd (a) mismunandi 1.0-2.0 mm
- Mesta stilling gefur breytilegt álag meira en 25 kN með sveifluvídd (a) mismunandi 2.0-3.0 mm

Niðurstöður úr erlendum rannsóknum og prófunum hafa sýnt að að þetta kemur ekki endilega í veg fyrir valtarahopp eða bæti þjöppun á jarðvegi í samanburði við handvirka stýringu með stöðuga sveifluvídd [5]. Þess vegna þurfa framleiðendur að þróa þennan búnað áfram svo þetta virki og auðveldi notendum vinnu við þjöppun og auki verkgaði.



Mynd 21 Sjálfvirk þjöppugreining. Valtari stjórnar sjálfur sveifluvídd og tíðni eftir mótstöðu fyllingar [16].



#### 4.6 Tegundir valtara með þjöppugreiningu

Nú eru að minnsta kosti fimm framleiðendur valtara í heiminum sem bjóða uppá þjöppugreiningarbúnað með mótstöðumælingar í völturum. Mismunandi er hvernig hugbúnaður skilar gögnum frá sér. Mótstöðugildi og mælieining getur verið mismunandi eftir valtarategund en hugsunin á bakvið búnaðinn hjá öllum framleiðendum er alltaf sú sama. Í viðauka 3 er nánari umfjöllun um framleiðendur valtara og þann búnað sem þeir bjóða upp á.

Hér á Íslandi eru aðeins tvö umboð með valtara en það eru Kraftvélar með *Dynapac* og Klettur með *Caterpillar*. Ísmaur er umboðsaðili fyrir *Trimble* sem er söluaðili mælitækja og hugbúnaðar fyrir jarðvinnuverktaka.

Ýmsir möguleikar og úrval af búnaði er í boði fyrir jarðverktaka. Í viðauka 2 er viðmiðunarkostnaður við kaup á mismunandi búnaði sem til er hjá framleiðendum í dag. Þjöppugreiningarbúnaður er ekki staðalbúnaður og þarf því að bæta honum við aukalega þegar fjárfesta á í valtarabúnaði. Í töflu 12 sést samanburður á fimm valtarategundum sem fá má með þjöppugreiningarbúnað.

**Tafla 12** Samanburður á valtarategundum [5].

		Amman/case	Bomag	Catepillar /Trimble	Dynapac	Sakai
Þjöppugildi		ks	E <sub>vib</sub>	CMV	CMV	CCV
Eining þjöppugildis		MN/m	Mpa	einingalaust	einingalaust	einingalaust
Skjá hugbúnaður		ACE-Plus	BCM05	Visionlink	DCA-S /DCA-S(GPS)	SiteInk3D
Útgangsgögn	Dag/tími	✓	✓	✓		✓
	Staðsening norður / austur eða Breiddargráða /Lengdargráða	✓	✓	✓	✓	✓
	Hæð	✓	✓	✓	✓	✓
	Stefna valtara fram eða aftur	✓		✓	✓	✓
	Titringsur Á/Af	✓		✓		✓
	Þjöppugildi	✓	✓	✓	✓	✓
	Sveifluviðd	✓	✓	✓	✓	
	hraði	✓	✓	✓	✓	
	Tíðni	✓	✓	✓	✓	✓
	Valtarahopp		✓		✓	
	Lengd og breidd valtara	✓				
GPS gæði					✓	
Skráarsnið		*.txt	*.csv	*.csv	*.txt	*.csv
Sjálvirk viðbragðarstjórnun		Já	Já	Nei	Já	Nei

#### **4.7 Hugbúnaður og gagnavinnsla**

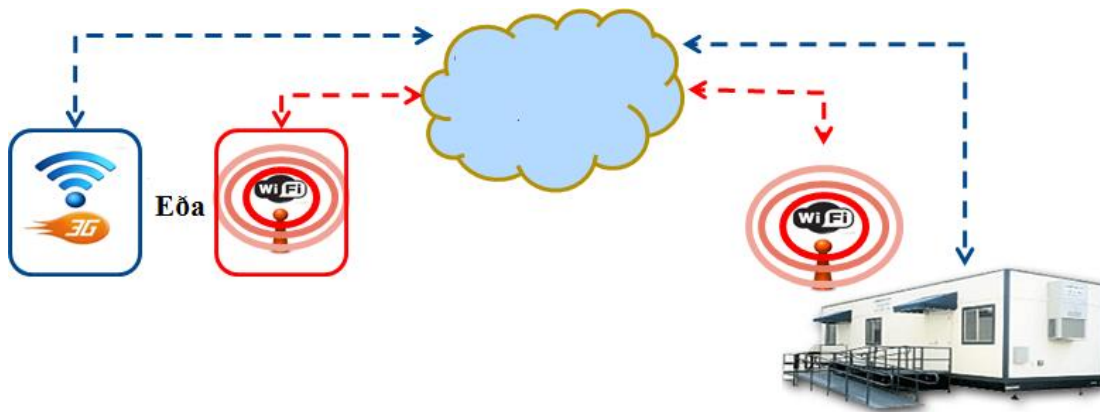
Hver og einn valtaraframleiðandi hefur þróað sinn eigin hugbúnað fyrir þjöppugreiningu. Mismunandi er hvernig uppsetning gagna er fyrirkomið úr hugbúnaði en framleiðendur hafa það sameiginlegt að geta skilað yfirliti og skýrslum yfir þjöppunarsvæði. Mikilvægt er að starfsmenn sem vinna við búnaðinn hafi nægjanlega þekkingu til að nota hann rétt. Með skýrslum er sýnt fram á með mótstöðugildum að þjöppun hafi náðst á öllum svæðum sem hafa verið þjöppuð.

Veda er hugbúnaður til að greina gögn eftir þjöppun og getur lesið gögn frá öllum þeim völturum sem tilgreindir hafa verið í þessari skýrslu. Veda birtir þjöppunargögn í þægilegu notenda umhverfi þar sem hægt er að meðhöndla gögn og búa til skýrslur. Verktaki sem er með margar tegundir af völturum getur sameinað gögn úr þeim með þessum hugbúnaði sem gefur heildarsýn yfir það sem þjappað [17].

#### 4.7.1 Gagnasendingar

Gögn úr greiningarbúnaði er hægt að senda jafnóðum og þjappað er yfir þráðlaust net eða 3G farsímabúnað yfir í tölvu tæknimanns eða eftirlits.

Þessi aðferð hjálpar notendum að draga úr kostnaði við umsjón og eftirlit og eykur skilvirkni. Notendur sjá hvort hætta sé á ofþjöppun á efni eða hvort þjöppun vanti á einhverjum stöðum. Hægt er að skoða upplýsingar úr hvaða tölvu sem er eina skilyrðið er að hún sé nettengd. Með þessu er hægt að draga úr eldsneytisnotkun og óþarfa þjöppun þar sem fleiri en stjórnandi valtara sjá hvað er að gerast. Með þráðlausum gagnasendingum getur verkkaupi sett þær kröfur að verktaki sendi gögn úr valtara beint til eftirlitsmanns sem getur fylgst með þjöppun í rauntíma.



Mynd 22 Gagnasendingar úr búnaði fara beint í tölvu eða spjalddölvu umsjónamanns eða eftirlits [18].

Við gerð þessarar skýrslu voru tveir valmöguleikar skoðaðir.

Séu valtarar útbúnir greiningarkerfi frá *Trimble* gefst kostur á að nota *Visiolink* sem er vefumsjónarhugbúnaður frá *Trimble*. Notendur geta fylgst með ferðafjölda yfir svæði og mótstöðugildi fyllingar. Notast er við þráðlaust net eða 3G farsímabúnað til að koma gögnum í vefumsjónarkerfið sem uppfærast á 5-10 mínútna fresti. Með þessu kerfi næst heildarsýn á framleiðni verka svo fleiri geti tekið ákvarðanir á réttum tíma. *Visiolink* fylgist stöðugt með ferðafjölda valtara yfir það svæði sem er þjappað og skráir þjöppunargildi sem eru á hverjum stað í vegbyggingunni. Auðvelt er að hala niður gögnum úr þjöppubúnaði þráðlaust yfir í tölvu og einnig að setja inn hönnunargögn í búnað [19].

Með greiningarbúnað frá framleiðendum *Dynapac* og *Bomag* gefst kostur á að bæta við nettengdri tölvu sem sendir gögn yfir netið með nokkra sekúnda milli bili þar sem annar notandi getur meðhöndlað þau [20].

Viðmiðunarkostnað fyrir gagnasendinga búnað má sjá í viðauka 2, en hann er breytilegur eftir gerð og umfangi.

#### 4.7.2 Gagnameðhöndlun úr hugbúnaði

Þjöppugreiningargögn í hugbúnaði valtara eru geymd á þar til gerðu skráarsniði og þess vegna er mikilvægt að skilja hvernig hugbúnaður flytur gögn yfir í ASCII skrá eða á texta snið fyrir eftirvinnslu gagna. Nauðsynlegar gagnaupplýsingar verður að vera hægt að keyra út úr skrá til að geta metið þau gögn sem safnast hafa. Nauðsynlegar gagnaupplýsingar eru sýndar í töflu 13 og gagnaupplýsingar fyrir hvern mælingastað eru sýndar í töflu 14 [17].

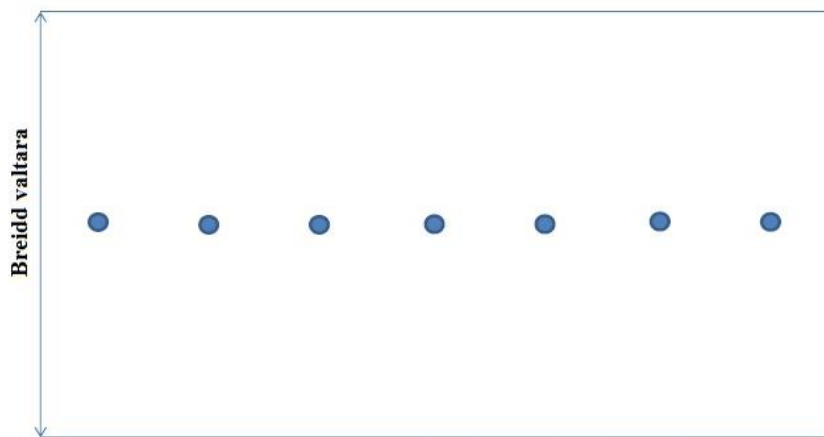
**Tafla 13** Gagnaupplýsingar um búnað.

Nr	Lýsing	Dæmi
1	Verkefni	Veg1
2	Númer fyllingarlags vegbyggingar	1
3	Valtaraheiti	Bomag
4	Valtara tegund	BW213-41
5	Tromlur valtara (1: ein tromla , 2:tvær tromlur)	1
6	Tromlu breidd (m)	2.13
7	Tromlu þvermál (m)	1.5
8	Valtara þyngd (tonn)	12.4
9	Millibil skráðra punkta þvert á valta (mm)	30
10	Millibil skráðra punkta í færsluátt (mm)	30
11	Hnitakerfi	Isnet
12	Önnur hnitakerfi sem ekki eru þekkt.	~
13	Þjöppustuðull ( 1: Kb, 2 E <sub>vib</sub> , 3: CMV, 4: H MV, 5: CCV , 7: MDP, 7: annað)	2
14	Gagnategund (1: Frumgögn 2: Möskvagögn allra yfirferða, 3: Möskvagögn loka niðurstaða	3
15	Fjöldi þjöppugreininga punkta	100000

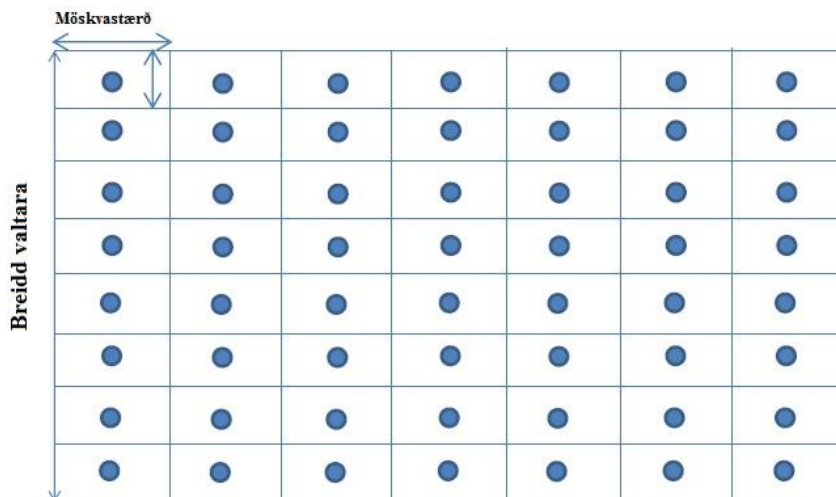
**Tafla 14** Gagnaupplýsingar um hvern mælistað

Nr	Nafn gögn	Dæmi
1	Dagsetning (ÁÁÁÁMMDD)	20141015
2	Tímasetning (KKMMSS)	101455
3	Lengdargráða (°) / Austur hnit (m)	358442.4
4	Breiddargráða (°) /Norður hnit (m)	457324.5
5	Hæð (m)	45.557
6	GPS nákvæmni (1: gilt, 2: ógilt)	1
7	Fyllingarlag vegbyggingar , númer	1
8	Valtarahamur (1: titringur , 2:án titrings)	1
9	Valtara umferð nr	3
10	Stefna 1.áfram 2.afturábak	1
11	Hraði valtara	4.0
12	Tíðni (vpm)	3500.0
13	Sveifluvidd (mm)	0.6
14	Hitastig mæling (1: gild, 2:ógild)	1
15	Hitastig (°C)	120.
16	Þjöppugildi mæling (1: gild , 2:ógild)	1
17	Þjöppugildi	20

Þegar skráning þjöppunar fer fram í búnaði fer það yfirleitt fram á tveimur formum: Frumgögn og möskvagögn. Frumgögn eru skráð þegar þjappað er áður en möskvagögn eru gerð. Frumgögn eru gerð af einum punkti við miðja tromlu sem er tekinn með ákveðnu millibili. Möskvagögn eru unnin með því að fínvinna upplýsingar úr frumgögnum. Tilgangur með þessu er að greina skörun sem verður á þjöppunarferðum [17].



Mynd 23 Frumgögn þjöppugilda við þjöppun [17].



Mynd 24 Möskvagögn þjöppugilda við þjöppun [17].

#### 4.8 Eftirlit og skil á gögnum

Verktaki skal sýna fram á að fyrirskrifuðum gæðum þjöppunar sé náð. Gögn verktaka sem fengist hafa með stöðugri þjöppunarstjórn skulu sýna umfang þjöppunarvinnu þar sem fram kemur fjöldi völtunarferða og að nóg þjöppun sé náð með þjöppugildum á hverjum stað fyrir alla vegbygginguna auk kvörðunar mótstöðugilda með plötuprófum.

Framsetning niðurstaðna skal meðal annars vera myndrænar skýrslur úr valtarabúnaði þar sem mótstöðugildi jarðvegs sést og í hvaða vegstöð gildið er skráð. Á skýrslu skal koma fram hraði valtara, sveifluvídd og tíðni á meðan þjöppun stóð yfir. Skráarsnið gagna verður að vera þannig að hægt sé að lesa þau með hugbúnaði sem ekki er sérhæfður (t.d pdf-snið).

Verktaki skal skila gögnum stöðugt þar til þjöppunarvinnu er lokið og fá samþykki verkkaupa áður en næsti verkhluti fyllinga hefst. Á mynd 25 sést dæmi um skýrslu úr hugbúnaði *Dynapac* valtara.

# DCA production report



ver. 1.0 / 1.09

Printout date/time  
7.5.2014 09:44

Organization

User

Project

Object

Layer

**UNDIRFYLLING**

Section

**650-1650**

Used rollers

Dynapac CA302D

Date/time for first run

6.5.2014 17:05

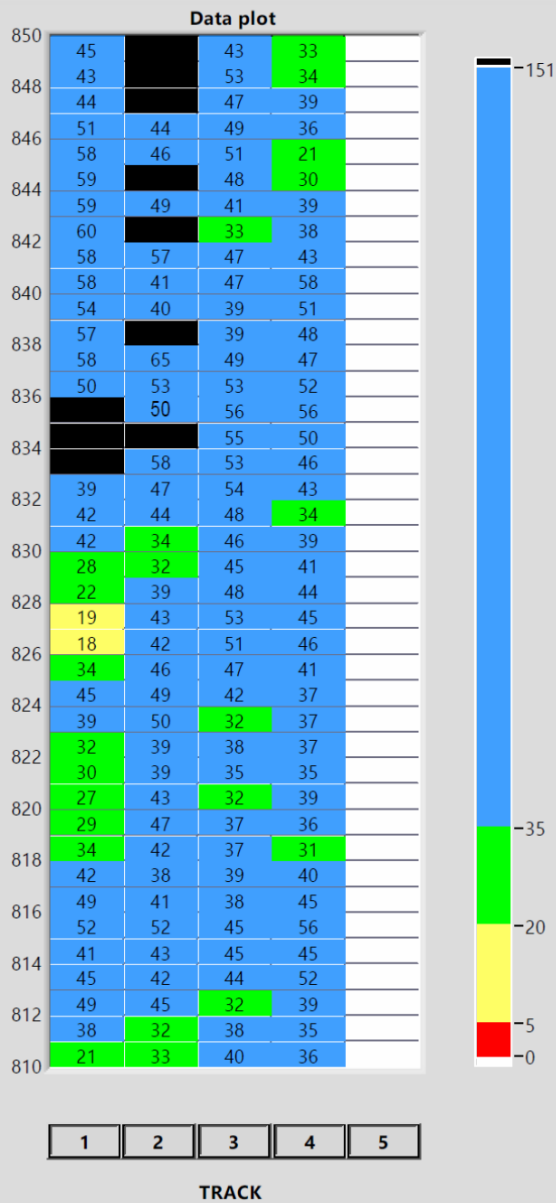
Date/time for last run

7.5.2014 08:16

### Data to print

CMV

Color



1 2 3 4 5

TRACK

	$\bar{x}$	s	min	max
Compaction	29	18	0	149
Comp.	-2	82	-100	100
Passes	1,0	0,1	1	2
Speed (km/h)	3,4	1,8	0,2	12,4
Frequency (Hz)	33,0		33,0	
Amplitude	0,8		1,7	

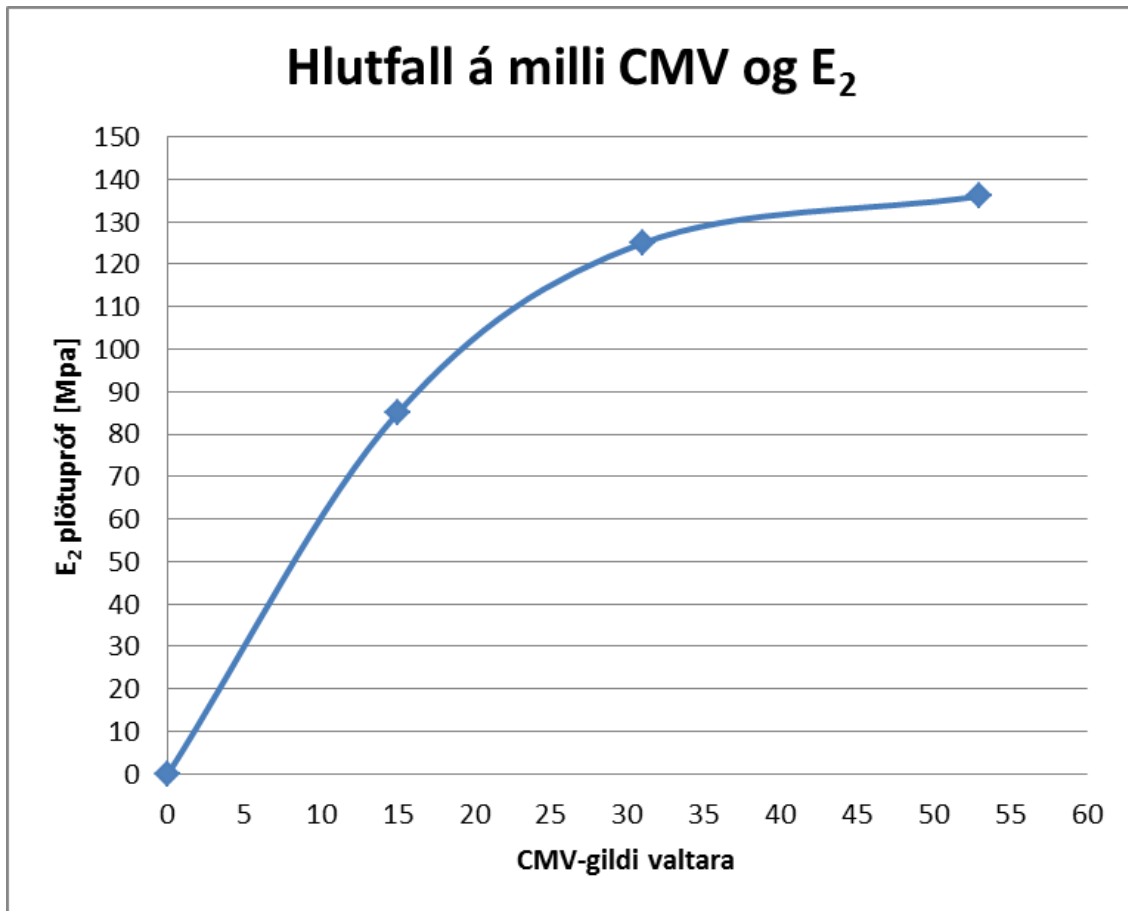
  

Statistical data for the working area (=Zoom all).		
Black	Bouncing	11
Blue	35 - 150	34
Green	20 - 35	21
Yellow	5 - 20	34
Red	0 - 5	0
		%

Mynd 25 Gögn úr hugbúnaði Dynapac valtara. Lengd svæðis er 40 metrar frá vegstöð 810-850. Vegbreidd vegar er 8 metrar sem eru ca. fjórar breiddir valtaratromlu.

#### 4.9 Kvörðun mótstöðugilda

Einstakt sýni með plötuprófi ætti að veita heildarsýn á þjöppun á öllu svæðinu. Með plötuprófi er hægt að athuga staði þar sem búnaður valtara hefur sýnt lægra þjöppugildi en annars staðar svo að fullvíst sé að þjöppun sé náð. Niðurstöðu úr plötuprófi er hægt að nota sem kvörðun fyrir þjöppumæla í völturum. Mótstöðugildi getur verið mishátt þegar verið er að þjappa mismunandi jarðefni eða jafnvel þegar mislangt er niður á klöpp.



Mynd 26 Dæmi um Kvörðunarlínu miðavið niðurstöður af E<sub>2</sub> gildi úr þremur plötuprófum þar sem CMV-gildi er þekkt.

Á mynd 26 sést dæmi um kvörðunarlín miðað við niðurstöður af E<sub>2</sub>-gildum úr þremur plötuprófum í punktum þar sem CMV mótstöðugildi er þekkt.



## 5 Ferli verktaka á verkstað með þjöppugreiningarbúnað.

Í þessum kafla er sérstaklega skoðað ferli þjöppunar í framkvæmdinni *Breikkun Hringvegjar á milli Hamragilsvegjar og Hveragerðis* sem unnið er við á Íslandi. Við skilgreiningu á þjöppunarkröfum er farið eftir Alverk 95. Mæla skal þjöppun á yfirborði fyllingar og styrktarlagi með plötuprófi.

Niðurstöður plötuprófs skulu uppfylla að:

$$E_2 \geq 100 \text{ Mpa}$$

$$E_2/E_1 < 2,5$$

Verktaki hefur ákveðið að nota *Dynapac* valtara með DCA-þjöppugreiningarhugbúnaði án GPS-staðsetningarbúnaðar.

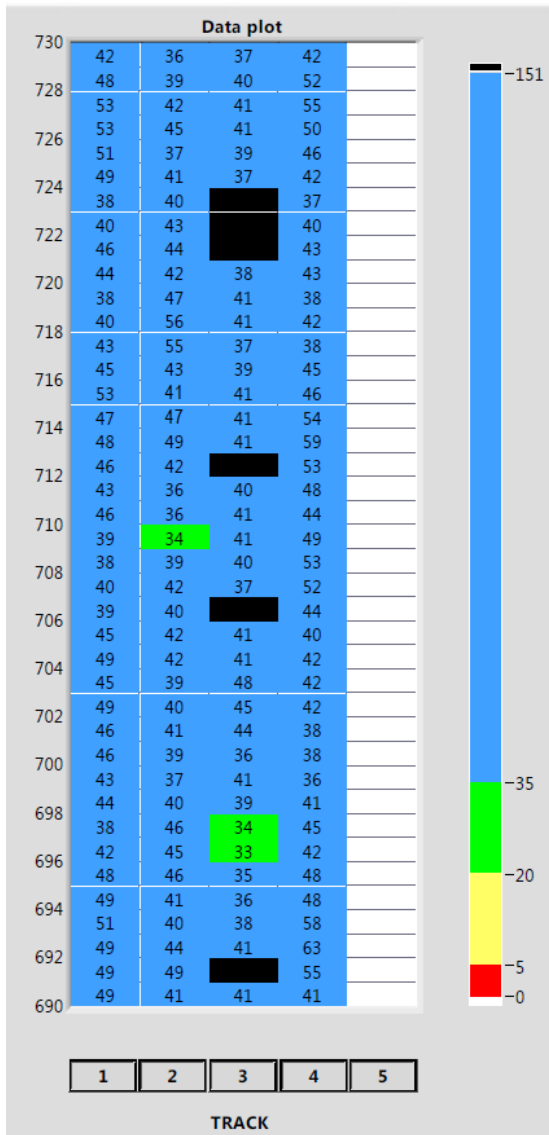


Mynd 27 Unnið við framkvæmdir *Breikkunar Hringvegjar á milli Hamragilsvegjar og Hveragerðis*

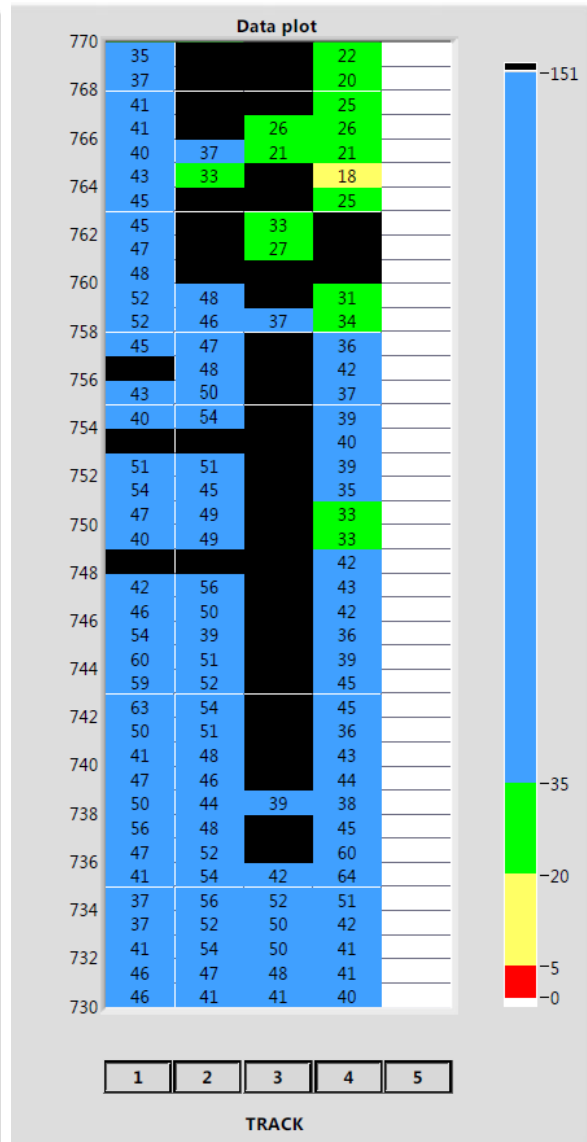
Í upphafi hvernar þjöppunar þarf að stilla inn í hvaða vegstöð valtari er, sem mælir svo sjálfur ekna vegalengd. Hugbúnaður skráir samfellt mæld CMV-mótstöðugildi með eins meters millibili.

1. Verktaki undirbýr þjöppun á fyllingarlagi sem er einsleitt efni. Valtari er stilltur inn í þá stöð sem byrjað er að valta og litakvarði fyrir CMV-mótstöðugildi er einnig stillt þannig að lágmarks gildi litast græn. Í stýrishúsi valtara sér stjórnandi valtara að skv mótstöðumælingum hefur náðst þjöppun og ákveðið er að ekki skal þjappað meira og mun fyllingin fá meiri þjöppun þegar styrktarlag og burðarlag verða þjöppuð. Á mynd 28 sést loka yfirferð valtara á 80 metra kafla í fyllingu sem er um 8 metra breið. Möskvastærðin er breidd valtara mæld á meters millibili. Svartur litakóði merkir að fylling er fullþjöppuð og hættur eru á að efsta efni í fyllingarlagi brotni niður.

**DYNAPAC**

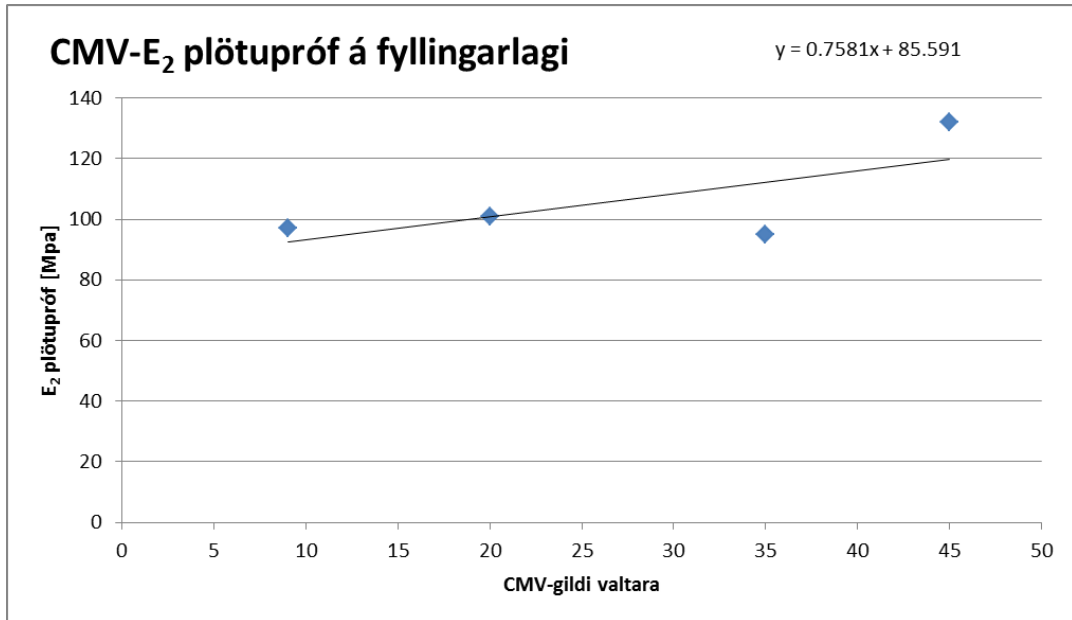


**DYNAPAC**



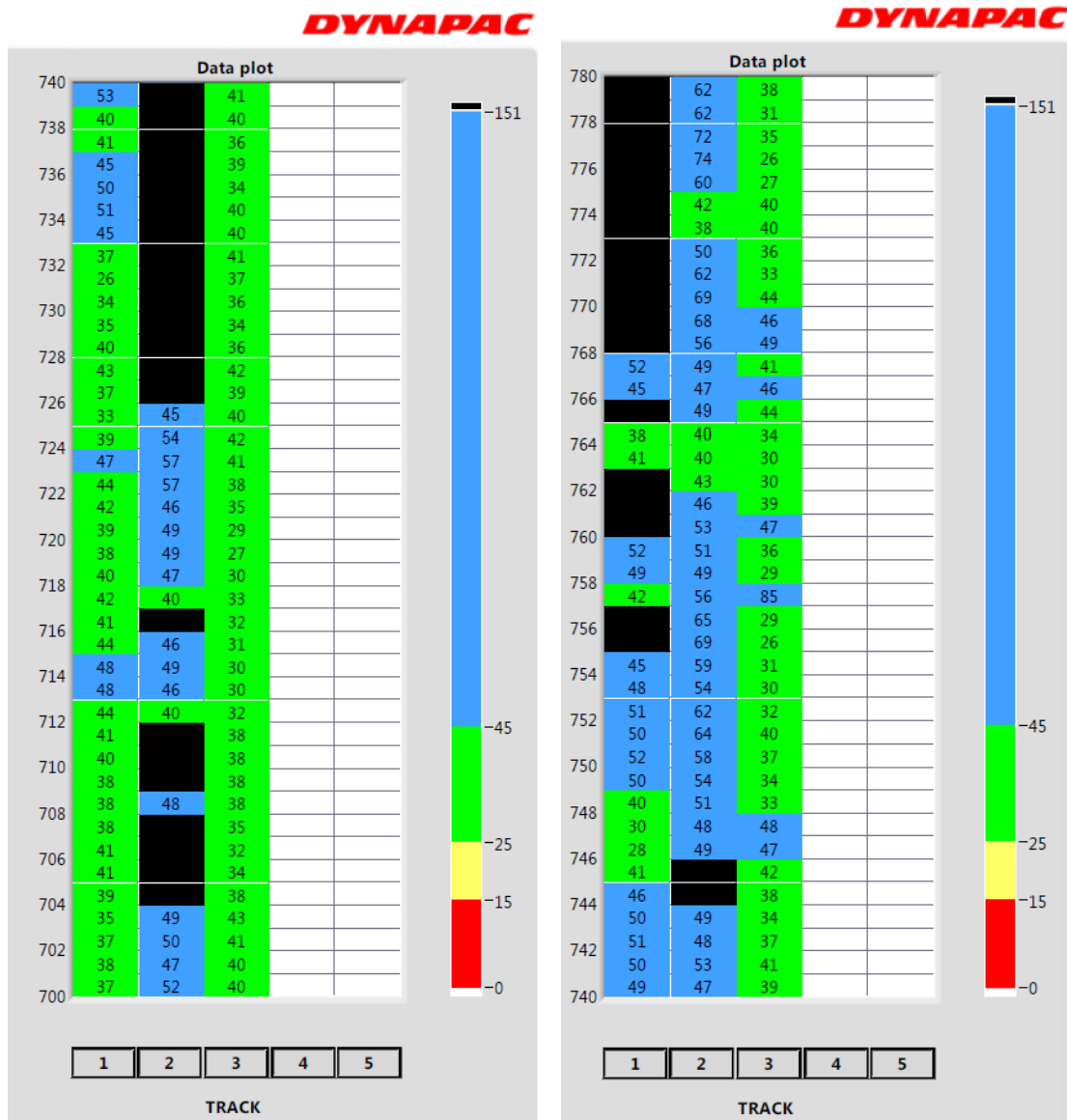
Mynd 28 Myndræn framsetning skýrslu um völtun fyllingarlags. Úr þjöppugreiningarhugbúnaði *Dynapac* valtar.

2. Fjögur plötupróf eru tekið á fyllingarlagi í stöðvum þar sem CMV-mótstöðugildi eru þekkt. Borin eru saman  $E_2$ -gildi úr plötuprófi og mótstöðugildi valtarans. Þar sem sama einsleita fyllingarefnið er notað á öllu verksvæði er hægt með þessari prófun að nota samanburð þessara gilda til þess að ákvarða hvort fylling stenst þjöppunarkröfu.



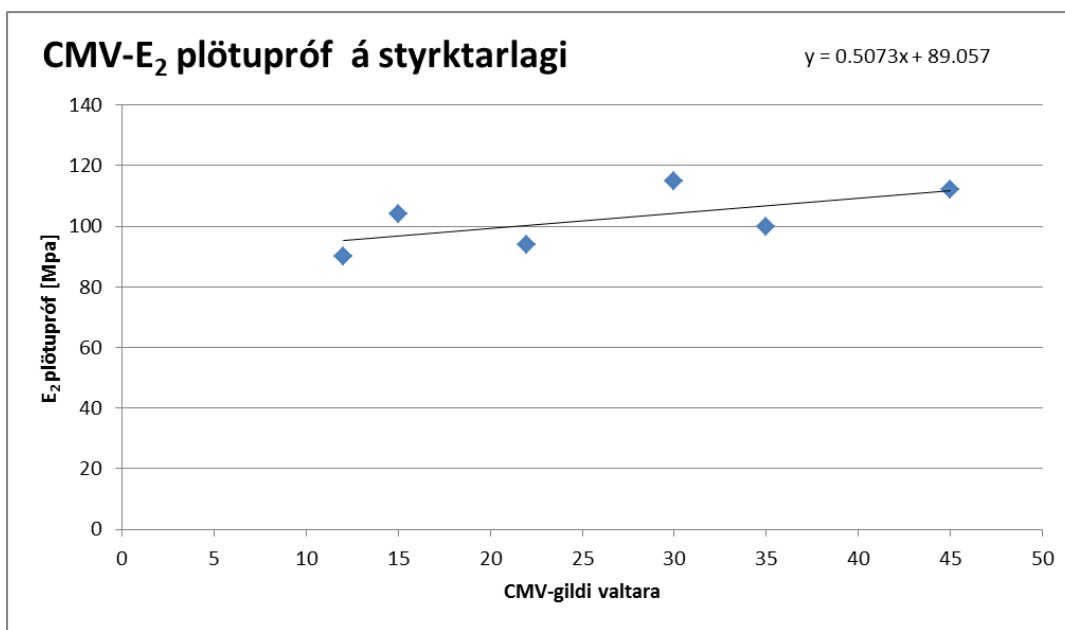
**Mynd 29** Samanburður á  $E_2$ -gildum plötuprófs á fyllingarlagi og CMV-gildi valtara.

3. Styrktarlag sem er efni úr námu er sett ofaná fyllingarlag og þjappað. Mynd 30 sýnir sama stöðvasvæði og mynd 28 nema nú er komið ofar í hæð vegar og breidd vegar orðin u.þ.b. 6 metrar eða þrjár umferðir valtare.



Mynd 30 Myndræn framsetning skýrslu um völtun styrktarlags. Úr þjöppugreiningarhugbúnaði Dynapac valtare.

4. Sex plötupróf eru tekið á styrktarlagsfyllingu í stöðvum þar sem CMV-mótstöðugildi eru þekkt. Borin eru saman  $E_2$  gildi úr plötuprófi og þjöppugildi úr valtara. Á mynd 31 sést að CMV-mótstöðugildið ætti að vera að lágmarki 25 sem þýðir skv plötuprófi  $E_2=100$  Mpa og er skv lágmarkskröfur verkkaupa. Á mynd 30 stendur grænn litarkóði fyrir lágmarks þar sem CMV-gildið er á bilinu 25-45.



Mynd 31 Samanburður á  $E_2$ -gildum plötuprófs á styrktarlagi og CMV-gildi valtara.

5. Gögnum úr plötuprófi og skýrslum úr þjöppugreiningarbúnaði úr valtara er skilað til eftirlits og verkkaupa til samþykktar. Notast verður við þessar niðurstöður við áframhald verks því unnið er með sömu fyllingarefni og burðarlagsefni. Mótstöðugildin hafa verið kvörðuð með niðurstöðum plötuprófa. Fleiri plötupróf eru því óþörf og mun verktaki skila gögnum úr greiningarbúnaði valtara til að sýna fram á að vegfyllingar séu þjappaðar samkvæmt kröfum verkkaupa. Ef til þess kemur að mótstöðugildi valtara sýna að þjöppun sé ekki að nást er það skoðað sérstaklega og plötupróf geta þá verið framkvæmd á þeim stöðum.



## 6 Drög að Verklýsingum

Verklýsingar fyrir þjöppun fyllinga í vegagerð þarf að aðlaga að stöðugri þjöppunarstjórn með mótstöðumælingum. Dæmigerða verklýsingu eins og nú tíðkast má sjá í viðauka 4.

Verklýsingar eru mismunandi eftir því hversu miklar kröfur eru gerðar um þjöppun. Í verklýsingu þar sem miklar kröfur eru gerðar þarf verktaki að vera með nákvæman staðsetningarbúnað og eftirlitsaðili á að geta fylgst með þjöppun í rauntíma með þráðlausu gagnastreymiskerfi. Hér fyrir neðan eru sett fram drög að verklýsingum sem miðast við stöðuga þjöppustjórn eins og henni hefur verið lýst í kafla 4. .

### 6.1 Verklýsing - miklar kröfur um nákvæmni

Verktaki skal leggja fram þjöppuáætlun fyrir alla þjöppunarvinnu sem samþykkt er hjá umsjónarmanni verkkaupa. Skipuleggja skal þjöppun á hverju efnislagi og skilgreina gerð efnis sem á að þjappa . Fyllingu skal leggja út í lögum og skal lagþykkt ákvarðast fyrst og fremst af búnaði til þjöppunar (sjá í töflum 5 og 6). Þjöppunarvinnu á að vinna á láréttum fleti fyllingar og skal ná yfir alla breidd hennar. Hraði valtara skal vera á milli 3-6 km/klst.

Valtari skal útbúinn þjöppugreiningakerfi með mótstöðumælingu sem getur skráð mótstöðugildi á hverjum stað vegbyggingar. Staðsetningarbúnaður skal vera GPS-búnaður með nákvæmni minna en 20 cm í planlegu en ekki er krafist nákvæmni í hæðarlegu (z). Þjöppugreiningarbúnaður skal skrá staðsetningu mótstöðugilda með mismunandi litagreiningu og fjölda þjöppunarferða yfir hvert lag. Í upphafi verks skal mælt mótstöðugildi valtara kvarðað með niðurstöðum mælinga úr plötuprófi.

Framsetning niðurstaðna úr mælingum skal vera myndrænar skýrslur úr hugbúnaði valtara. Mótstöðugildi jarðvegs eru hnitsett og sett fram með litum eða tölum svo augljóst sé að sjá hvar gildið er í vegbyggingunni. Á skýrslu skal koma fram hraði valtara, sveifluvídd og tíðni á meðan þjöppun stóð yfir.

Valtari skal útbúinn þráðlausu gagnastreymiskerfi svo að eftirlitsaðili geti fylgst með þjöppun í rauntíma. Verktaki skal skila gögnum stöðugt þar til þjöppunarvinnu er lokið og fá samþykki verkkaupa áður en næsti verkhluti fyllinga hefst.

## 6.2 Verklýsing - lágmarkskröfur um nákvæmni

Verktaki skal leggja fram þjöppuáætlun fyrir alla þjöppunarvinnu sem samþykkt er hjá umsjónarmanni verkkaupa. Skipuleggja skal þjöppun á hverju efnislagi og skilgreina gerð efnis sem á að þjappa . Fyllingu skal leggja út í lögum og skal lagþykkt ákvarðast fyrst og fremst af búnaði til þjöppunar (sjá í töflum 5 og 6). Þjöppunarvinnu á að vinna á láréttum fleti fyllingar og skal ná yfir alla breidd hennar. Hraði valtara skal vera milli á 3-6 km/klst.

Valti skal útbúinn þjöppugreiningakerfi með mótstöðumælingu sem getur skráð mótstöðugildi á hverjum stað vegbyggingar. Staðsetningarbúnaður skal vera GPS-búnaður eða annar staðsetningarbúnaður sem sýnir staðsetningu mótstöðugilda með mismunandi litagreiningu. Í upphafi verks skal mótstöðumæligildi valtara stillt af við niðurstöður mælinga með plötuprófi. Framsetning niðurstaðna úr mælingum valtara skal vera myndrænar skýrslur úr búnaði valtara þar sem mótstöðugildi jarðvegs er greint með litum eða tölum og í hvaða vegstöð gildið er skráð. Á skýrslu skal koma fram hraði valtara, sveifluvídd og tíðni á meðan þjöppun stóð yfir. Verktaki skal skila gögnum stöðugt þar til þjöppunarvinnu er lokið og fá samþykki verkkaupa áður en næsti verkhluti fyllinga hefst.



## 7 Niðurstöður

Með rétttri þjöppun og efnisvali lengist endingatími vegbygginga og kostnaður vegna viðhalds og endurbyggingar vega minnkar. Hér eru dregin saman helstu atriði sem fram koma í þessari ritgerð.

Fyllingu, styrktarlag og burðarlag verður að leggja í lögum og ákvarðast þykkt hvers lags fyrst og fremst af búnaði til þjöppunar. Verktaki skal nota töflur eða gröf þar sem upplýsingar eru um þjöppunarbúnað, gerð fyllingarefna og hæfilegar lagþykkir í samræmi við það. Við þjöppun við vegg, ræsi eða önnur mannvirki þarf að huga að láréttum þrýstingi sem verkar á mannvirkið við framkvæmd þjöppunar.

Mikilvægt er að skipuleggja vinnu við þjöppun með því að gera þjöppuáætlun sem tryggir meðal annars að öllu svæðinu sé skipt upp í mismunandi kafla þar sem lagþykkir og valtarabúnaður hæfa verkefninu og gerð þeirra jarðefna sem nota skal.

Hingað til hefur aðallega verið notast við plötupróf við þjöppumælingar í vegagerð hér á landi. Þar sem þær eru framkvæmdar á stökum punktum gefa þær ekki endilega heildaryfirsýn yfir þjöppun á allri vegbyggingunni. Stöðug þjöppunarstjórn með mótstöðumælingum í völturum er samfelld mæling sem getur dregið úr misjafnri þjöppun og gefið heildarmynd af öllu því svæði sem er þjappað er. Með einfaldri skoðun á myndrænum gögnum úr hugbúnaði valtara fæst heildarsýn og hægt er að staðsetja fleti þar sem ekki hefur náðst tilskilin þjöppun áður en næsta lag efnis eða slitlag er lagt yfir. Með stöðugri þjöppunarstjórn mun draga úr þörfinni á notkun plötuprófa nema til kvörðunar mótstöðugilda. Stöðug þjöppunarstjórn bætir gæðastýringu en afa þarf þekkingar í upphafi svo hægt sé að meðhöndla búnað og gögn af kunnáttu.

Til kvörðunar mótstöðugilda eru plötupróf gerð í stöðvum þar sem mótstöðugildi hafa verið mæld. Borin eru saman  $E_2$ -gildi úr plötuprófi og mótstöðugildi valtara. Kvörðunin gerir það að verkum að mótstöðugildin gefa skýrt til kynna hvort kröfum um þjöppun sé náð svo frekari plötupróf verða óþörf sé sama fyllingarefnið notað áfram. Í framhaldi verks skilar verktaki reglulega af sér gögnum til umsjónarmanns verkkaupa sem innihalda myndrænar skýrslur úr búnaði valtara þar sem sjá má samfelldar mælingar mótstöðugilda og staðsetningu mælipunkta í veglínu. Ákvarðanir um framhald verks eru svo teknar út frá þessum gögnum þar sem í þeim kemur fram bæði hvort þjöppun sé ábótavant eða hvort um of mikla þjöppun geti verið að ræða.

Með þráðlausum gagnasendingum gagna úr búnaði geta fleiri en einn fylgst með því sem er að gerast í rauntíma við þjöppun. Verkkaupi getur sett þær kröfur að verktaki sendi gögn úr valtara beint til eftirlitsmanns sem getur fylgst með þjöppun og tekið ákvarðanir um framvindu verks án nokkurra tafa. Stöðug þjöppunarstjórn stuðlar þannig að því draga úr kostnaði við umsjón og eftirlit og auka skilvirkni.

Lítill reynsla er komin á stöðuga þjöppustjórnun hér á landi en þekkingin er til staðar. Áhugi verktaka fyrir þessum búnaði hefur ekki verið mikill enda lítið verið um stórfamkvæmdir á undanförunum. Söluaðilar þessa búnaðar hér á landi mættu gera átak í því að kynna þennan búnað fyrir verktökum sem valkost við framkvæmd þjöppunar. Setja mætti kröfur í verklýsingar fyrir þjöppun um að verktakar hafi þennan búnað þar sem það leiðir tvímælaust til þess að gæði þjöppunar aukast, ending vega batnar og kostnaður við viðhald minnkar. Þannig mundi einnig verða til þekkingargrunnur á mótstöðugildum veltara fyrir íslenskt fyllingarefni.

## Heimildaskrá

- [1] Marit Fladvad Jostein Aksnes, „Planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid“, Norwegian Public Roads Administration, Noregur, nr. 284, feb. 2014 [Rafrænt]. Af: [http://www.vegvesen.no/\\_attachment/592414/binary/946305?fast\\_title=Planlegging+og+utf%C3%B8relse+av+komprimering.pdf](http://www.vegvesen.no/_attachment/592414/binary/946305?fast_title=Planlegging+og+utf%C3%B8relse+av+komprimering.pdf) [Sótt: 20. ágú. 2014].
- [2] Dr. Lars Forssblad, *Vibratory Soil and rock fill compaction*. Sweden: Dynapac Maskin AB, 1981.
- [3] *Nova Linha de Compactadores Vibratórios de Solo CAT - CS e CP*. [Rafrænt]. Af: <http://www.youtube.com/watch?v=p8hrvvLq3Cg> [Sótt: 24. sep. 2014].
- [4] Gunnar Bjarnason og Elísabet S Urbancic, „Samanburður falllóðs og plötuprófs“, BUSL Burðarlaganefnd, 1996.
- [5] George Chang, Qinwu Xu, Jennifer Rutledge og Larry Michae, „Accelerated Implementation of Intelligent Compaction Technology for Embankment Subgrade Soils, Aggregate Base, And Asphalt Pavement Materials“, Final Report nr. FHWA-IF-12-002, júl. 2011.
- [6] Fróðleiksmolar um plötupróf / þjöppupróf / þjöppumælingar. (2014). *Verkfræðistofa FHG* [Rafrænt]. Af: [http://www.verkfraedi.net/index\\_files/Page448.htm](http://www.verkfraedi.net/index_files/Page448.htm) [Sótt: 26. sep. 2014].
- [7] „Efnisrannsóknir og efniskröfur. Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd“, Vegagerðin, jan. 2013 [Rafrænt]. Af: [http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Efnisrannsoknir\\_2014/\\$file/Efnisranns%C3%B3knir%202014.pdf](http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Efnisrannsoknir_2014/$file/Efnisranns%C3%B3knir%202014.pdf) [Sótt: 20. okt. 2014].
- [8] „Alverk '95 Almenn verklýsing fyrir vega- og brúagerð“, Vegagerðin, jan. 1995 [Rafrænt]. Af: [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Alverk95/\\$file/Alverk%2095.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Alverk95/$file/Alverk%2095.pdf) [Sótt: 12. okt. 2014].
- [9] Benjamín Ingi Böðvarsson, „Jarðefni , þjöppun og samanburður aðferða við þjöppumælingar“, Tækniháskóli Íslands, 2004.
- [10] „Vegbygging Handbok N200“, Statens vegvesen, jún 2014 [Rafrænt]. Af: [www.vegvesen.no](http://www.vegvesen.no)
- [11] Plate compactors. *Road Construction Equipment* [Rafrænt]. Af: <http://www.dynapac.com/products/?product=628&cat=54> [Sótt: 23. okt. 2014].
- [12] Products: Light Compaction Equipment. *Bomag* [Rafrænt]. Af: <http://www.bomag.com/us/en/products/light-compaction-equipment/Walk-Behind-Rollers/BMP+8500.html>
- [13] „Dynapac documentation system soil compaction“, feb. 2009 [Rafrænt]. Af: [http://www.dynapac.com/Global/PDF/Sustainability/3492003301\\_DCA\\_S\\_ENI.pdf](http://www.dynapac.com/Global/PDF/Sustainability/3492003301_DCA_S_ENI.pdf)
- [14] Todd Mansell, „Intelligent Compaction Caterpillar“, Caterpillar, ágú. 2013 [Rafrænt]. Af: [http://www.intelligentcompaction.com/downloads/field\\_demo/MEIC-4-CATIC-Mansell-B.pdf](http://www.intelligentcompaction.com/downloads/field_demo/MEIC-4-CATIC-Mansell-B.pdf)
- [15] Um Ísmar [Rafrænt]. Af: <http://www.ismar.is/um-ismar/> [Sótt: 02. okt. 2014].

- [16] Intelligent compaction. *Ammann* [Rafrænt]. Af: <http://www.ammann-group.com/en/home/technology/intelligent-ground-compaction/> [Sótt: 18. sep. 2014].
- [17] George Chang, Qinwu Xu, Jason Dick og Jennifer Rutledge, „Intelligent Compaction Data Guidelines Version 3.0“, Minnesota Dept. of Transportation, Final report nr. MN/RC-2011-01, mar. 2014 [Rafrænt]. Af: [http://www.intelligentcompaction.com/downloads/software/IC\\_Data\\_Guidelines-3.0.pdf](http://www.intelligentcompaction.com/downloads/software/IC_Data_Guidelines-3.0.pdf) [Sótt: 30. sep. 2014].
- [18] Trimble-Visionlink. *Project Monitoring* [Rafrænt]. Af: [ftp://www.myconnectedsite.com/TCC/sitechohllc/JBCTFilespace/Joel%20Brown%20Sample%20Files/Vision%20Link%20Demo/VisionLink%20-%20Project%20Monitoring%202013\\_10.pptx](ftp://www.myconnectedsite.com/TCC/sitechohllc/JBCTFilespace/Joel%20Brown%20Sample%20Files/Vision%20Link%20Demo/VisionLink%20-%20Project%20Monitoring%202013_10.pptx) [Sótt: 17. okt. 2014].
- [19] Heavy civil construction. *Trimble* [Rafrænt]. Af: <http://construction.trimble.com/products/software-solutions/visionlink> [Sótt: 09. okt. 2014].
- [20] „BOMAG compaction measurement and documentation systems.“, Bomag Fayat group [Rafrænt]. Af: [http://www.bomag.com/mobile/bcm05/pdf/PRE112002\\_1203.pdf](http://www.bomag.com/mobile/bcm05/pdf/PRE112002_1203.pdf) [Sótt: 15. okt. 2014].
- [21] Victor Gallivan og Georg Chang. (2007, sep.). Intelligent Compaction for Soils and Subbase Materials. *Federal Highway Administration* [Rafrænt]. Af: [http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ic/techbriefs/ic\\_soils.cfm](http://www.fhwa.dot.gov/pavement/ic/techbriefs/ic_soils.cfm) [Sótt: 04. sep. 2014].
- [22] Compaction Machinery & Road Construction Machinery [Rafrænt]. Af: [http://www.expo000.com/index.php?app=search&cate\\_id=3&page=2](http://www.expo000.com/index.php?app=search&cate_id=3&page=2) [Sótt: 15. okt. 2014].
- [23] Kris Hanson, „Accugrade compaction and the connected worksite“, Caterpillar [Rafrænt]. Af: [http://www.intelligentcompaction.com/downloads/Presentation/NYIC\\_Open%20House\\_CAT.pdf](http://www.intelligentcompaction.com/downloads/Presentation/NYIC_Open%20House_CAT.pdf) [Sótt: 05. okt. 2014].
- [24] Accugrade GPS. *CAT* [Rafrænt]. Af: [http://www.cat.com/en\\_US/support/operations/technology/earth-moving-solutions/accugrade-grade-control-system/gps.html](http://www.cat.com/en_US/support/operations/technology/earth-moving-solutions/accugrade-grade-control-system/gps.html) [Sótt: 29. sep. 2014].
- [25] Trimble Compaction Control Systems - CCS900 for Soil Compactors [Rafrænt]. Af: [http://construction.trimble.com/sites/construction.trimble.com/files/marketing\\_material/022482-2085C%20Machine%20System%20Spec%20Sheets%20-%20Compaction%20Control%20Systems%20-%20Soil%20Compactors%20-%20FINAL.pdf](http://construction.trimble.com/sites/construction.trimble.com/files/marketing_material/022482-2085C%20Machine%20System%20Spec%20Sheets%20-%20Compaction%20Control%20Systems%20-%20Soil%20Compactors%20-%20FINAL.pdf) [Sótt: 02. okt. 2014].
- [26] Trimble Compaction Control Systems CCS900 for Asphalt Compactors [Rafrænt]. Af: [http://construction.trimble.com/sites/construction.trimble.com/files/marketing\\_material/022482-2240B%20Machine%20System%20Spec%20Sheets%20-%20Compaction%20Control%20Systems%20-%20Asphalt.pdf](http://construction.trimble.com/sites/construction.trimble.com/files/marketing_material/022482-2240B%20Machine%20System%20Spec%20Sheets%20-%20Compaction%20Control%20Systems%20-%20Asphalt.pdf) [Sótt: 02. okt. 2014].

## Viðauki 1 Þjöppuáætlun

Mikilvægt er að skipuleggja vinnu við þjöppun með því að gera þjöppuáætlun sem tryggir meðal annars að öllu svæðinu sé skipt upp í mismunandi kafla þar sem lagþykktir og valtarabúnaður hæfa verkefninu og gerð þeirra jarðefna sem nota skal. Tafla 15 sýnir dæmi um hvernig setja má upp slíka áætlun.

**Tafla 15** Dæmi um uppsetningu þjöppuáætlunar fyrir verktaka [1].

Verk:			
Staðsetning:			
	Jarðvegslag vegfyllingar		
	Fylling	Styrktarlag	Burðarlag
Mælieining			
Heildar þykkt			
Valtarabúnaður			
Fjöldi lagþykta			
Áveita			
Fjöldi ferða			
Hraði valtara			
Titringur			
Fjöldi umferða með háa sveifluvidd			
Fjöldi umferða með lága sveifluvidd			
Fjöldi umferða án titrings			
Eftirlit og skráning gagna			
Stjórnunaraðferð			
Tegund gagna til eftirlits			

## Hjálpartexti við útfyllingu á þjöppuáætlun [1]

### Valtarabúnaður:

- Lagþykkt:** Mikilvægt er að leggja út fyllingarefni með viðeigandi þykkt og aðlaga valtara vinnu að því. Lagþykkt skal byggjast á þeim valtarabúnaði sem notaður er. Það skal varast að þjappa of þykkt lag með þungum valtara nema nauðsyn krefji en leggja efni frekar út í mörgum lögum þannig að lægri þjöppunarorku þurfi til þess að þjappa hvert lag. Þannig næst nægjanleg stífni án hættu á að eyðileggja það efni sem verið er að þjappa.
- Raki í fyllingu:** Steinefni þurfa að hafa nægt rakainnihald meðan á þjöppun stendur. Í mörgum tilvikum þarf vökvun fyrir og á meðan samþjöppun stendur. Með vatni er tryggt að fengin er góð þjöppunarvinna. Vatnið gerir það að verkum að auðveldara er fyrir korn að ná saman og á það við um allan jarðveg.
- Fjöldi ferða:** Fram og til baka yfir sama svæði teljast sem tvær umferðir.
- Titringur:** Skrá skal hvort notað sé titringur með háa eða lága sveifluvídd. Lágri sveifluvídd skal beitt á lagþykkir sem eru minni en 400 mm. Við þykkari lagþykkir skal nota háa sveifluvídd í byrjun og lága sveifluvídd í lokaumferð. Þjöppun á yfirborðslagi skal enda með tveimur ferðum án titrings til að fá góða yfirborðsjöfnun.
- Hraði valtara:** Hraði skal vera jafn og ætti ekki að vera meiri en 5 km/klst. Mælt er með að hraði sé 3-5 km/klst.
- Skráning gagna:** Gögn skulu sýna frammá að fyrirskrifaðri þjöppun sé náð og að lokið hefur verið við þjöppun.
- Annað:** Með þungum valtarabúnaði skal varast sérstaklega að þjappa yfir lagnir og byggingar sem eru undir jarðvegsyfirborði. Einnig skal hafa í huga áhrif lárétts þrýstings á mannvirki sem standa nærri.
- Í þeim tilvikum þegar stór valtari getur þjappað þykkt lag verður að huga að efsta laginu þar sem hætta er á að það molni niður og tapi styrk.
- Fjöldi yfirferða skal ákveðinn með plötuprófsmælingu nema valtarabúnaður sé búinn þjöppustjórnunarbúnaði sem skráir mótstöðugildi fyllinga.

## **Viðauki 2 Kostnaður**

Ýmsa möguleika er um að ræða fyrir verktaka þegar ákveðið hefur verið að fjárfesta í stöðugum þjöppustjórnunarbúnaði. Hér er aðeins viðmiðunarkostnaður á þeim búnaði sem notast er við í þjöppun.

### **Stöðugur þjöppustjórnarbúnaður í valtara**

1. Búnaður þar sem valtari mælir sjálfur staðsetningu eftir ekinni vegalengd og skráir mótstöðugildi jarðvegs í hugbúnað.

Kostnaður 1.200.000 kr – 1.500.000 kr

2. Ef kröfur eru um mikla nákvæmni á staðsetningu er kostnaður á búnaði orðinn meiri. Notast er við fullkominn GPS-staðsetningarbúnað með nákvæmni uppá 1-3 cm

Kostnaður 5.000.000 kr – 6.000.000 kr

### **Sjálfvirkur flutningur gagna úr valtara.**

Ef notast á við sjálfvirkan flutning gagna yfir í tölvu þarf að greiða mánaðargjald fyrir netþjónustu. Mismunandi er milli tegunda hvernig gögnin eru meðhöndluð.

1. Búnaður tengdur við nettengda tölvu staðsett í valtara sem sendir gögn frá sér.

Kostnaður 200.000 kr – 300.000 kr

2. Kerfi sem er með innbyggðan netbúnað og notast með vefumsjónarhugbúnað fyrir stöðuga þjöppugreiningu sem þarf að greiða mánaðarlegt áskriftargjald af.

Kostnaður á mánuði 15.000 kr – 20.000 kr

### **Sjálfvirk viðbragðastjórn**

Sjálfvirkan viðbragðstjórnunarbúnað er hægt að útfæra á misjafna vegu.

Kostnaður 500.000 kr – 1.500.000 kr





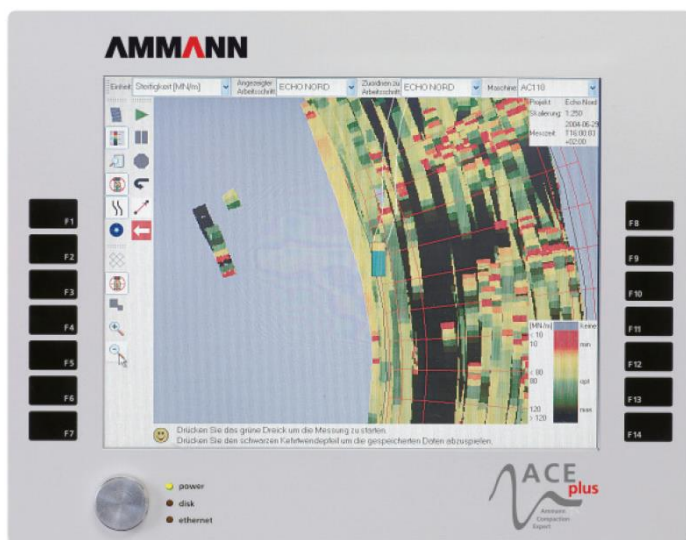
### Viðauki 3 Valtarategundir með þjöppugreiningarbúnað

#### Amman/Case

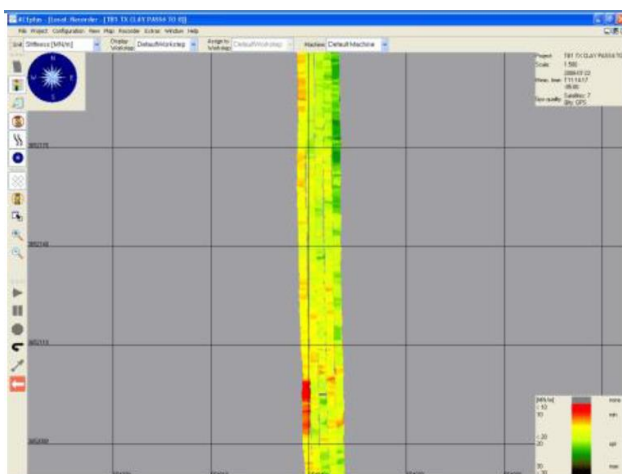
Amman/Case þjöppustjórnun var kynnt árið 1990 og nota þjöppunarstuðul (Kb). Þjöppustuðull skilar frá sér einingunni (MN/m) og er hann nátengdur plötuprófi. Hugbúnaður frá þeim er ACEplus sem notast við gervitunglamóttakara til að staðsetja þjöppun. Sjálfvirk viðbragðastjórnun er í búnaðnum en nánari umfjöllun um hana má sjá í kafla 4.5. Gögn valtara eru tekin út í textaskrám (\*.log) sem inniheldur þjöppugreiningargögn og XML-skrá inniheldur fastar upplýsingar [21].



Mynd 32 Amman / Case valtari [22],



Mynd 33 ACEplus skjábúnaður vélstjóranda[5]



Mynd 34 Skjáskot úr tölvuhugbúnaði Amman/case valtara [17].

## Caterpillar

*Caterpillar* notar þjöppugreiningarbúnað og hugbúnað frá fyrirtækinu *Trimble*. Þjöppugreiningakerfið stjórnast af hröðunarmæli á tromlu, hallaskynjara, GPS-móttakara og hugbúnaði. Hallaskynjari mælir vinstra eða hægri halla  $\pm 45$ . Allir þættir greiningar falla inn í *AccuGrade* kerfi sem veitir nákvæmar greininga upplýsingar á samþjöppun. Framleiðendur notast við CMV-mótstöðugildi.



**Mynd 35** *Caterpillar* einnar tromlu valtarabúnaður [23].



**Mynd 36** Skjáhugbúnaðar í valtarabúnaði *Caterpillar* [14]



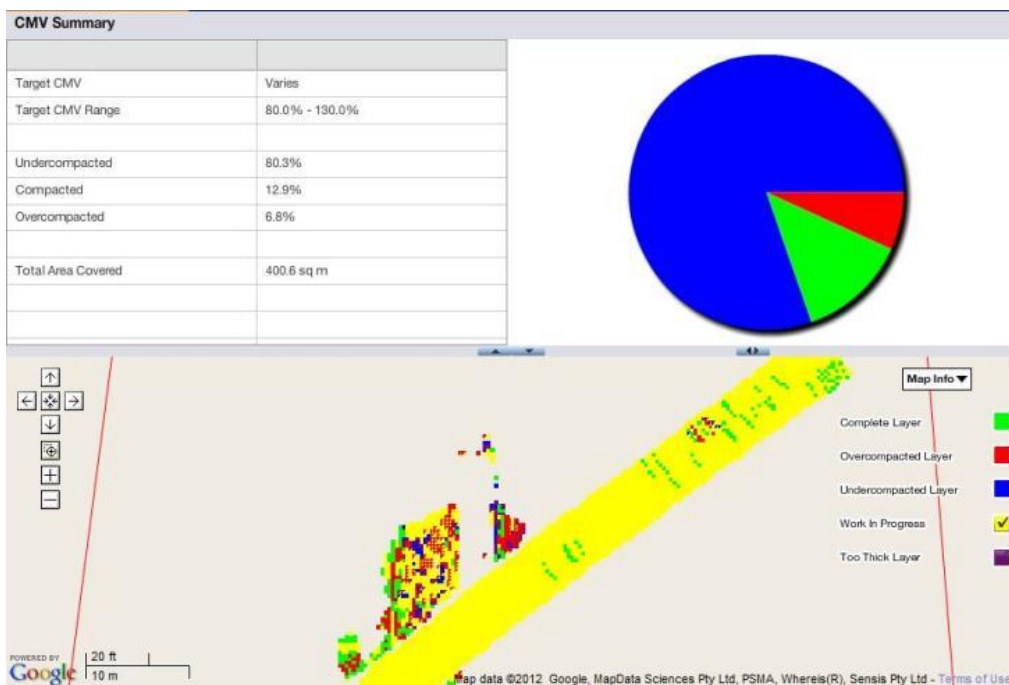
**Mynd 37** *Caterpillar* tveggja tromlu valtari [14].

Greiningabúnaður notast ekki við sjálfvirkt viðbragðastjórn en hinsvegar getur búnaður verið útbúinn tækni til að forðast „valtarahopp“ sem getur leitt til skemmda á valtarabúnaði og efsta burðarlags á jarðvegi.

*Accugrade* vélstýringakerfi hefur verið í þróun í 25 ár og er nú háþróaður tæknibúnaður sem notaður er við margskonar vélstýringar á vinnuvélar hjá *Caterpillar*. Skjáhugbúnaður í stýrishúsi er útbúinn þrívíðu litaskjákerfi þar sem sést hannað svæði sem unnið er við. Flutningur gagna í og úr búnaði er hægt að gera með þráðlausu neti eða símabúnaði sem gerir eftirlitsaðila að fylgjast með þjöppun jafnóðum [24].

*Caterpillar* notar *Visionlink* sem er vefumsjónarhugbúnaður frá *Trimble* sem býður verkstjóra, tæknimanni eða eftirliti að fylgjast með öllum tækjum sem notaðar eru við verk og eru með vélstýringar frá *Trimble*. *VisionLink* segir til hvar tækið er og hvað það er að gera. Notast er við þráðlaust net eða 3G farsímabúnað til að koma gögnum áleiðis í vefumsjónarkerfið. Með þessu kerfi næst heildarsýn á framleiðni verka svo hægt sé að taka réttar ákvarðanir á réttum tíma. Búnaður fylgist stöðugt með ferðafjölda valtara yfir svæði sem er þjappað og skráir þjöppunargildi sem eru á hverjum stað í vegbyggingunni. Auðvelt er að hala niður gögnum úr þjöppubúnaði þráðlaust yfir í tölvu og einnig að setja inn gögn í búnað.

*Visionlink* hjálpar eftirlitsmanni að draga úr kostnaði og auka skilvirkni. Notandi sér hvort hætta sé á ofþjöppun á efni eða hvort þjöppun vanti á einhverjum stöðum. Hægt er að skoða upplýsingar úr hvaða tölvu sem er en eina skilyrðið er að hún sé nettengd og með netvafra. Með þessu er hægt að draga úr eldsneytisnotkun, vinnusparnaði og óþarfa þjöppun þar sem fleiri en stjórnandi valtara sjá hvað er að gerast [19].



**Mynd 38** Skjámyndir úr vefumsjónakerfi *Visionlink* [18].

## Dynapac

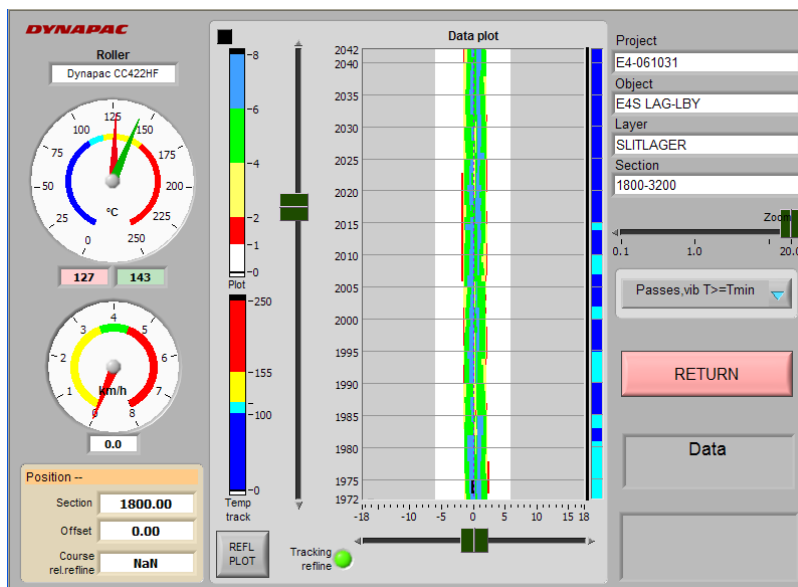
*Dynapac* byrjaði að þróa þjöppugreiningarbúnað kringum 1980. Greiningabúnaður notast við CMV-mótstöðugildi á þjöppunargæðum sem fær upplýsingar frá hröðunarmæli sem mælir svörun jarðvegs til að bregðast við og mæla þjöppun á jarðvegi. Með GPS-búnaði er bættist við nákvæm staðsetningu valtara.



Mynd 39 Tveggja tromlu *Dynapac* veltari [17]

Mynd 40 Einnar tromlu *Dynapac* veltari [17]

Fyrir skjölun og myndræna framsetningu er notaður *DCA* hugbúnaður. Hröðunarskynjari skráir titrings hreyfingar á tromlu og þær upplýsingar fluttar í örgjörva þar sem þau eru greind og birtast á skjá vélstjórnanda. Gögn eru geymd í tölvu veltara og flutt með minnislykli eða þráðlaust með netbúnaði yfir í tölvu tæknimanna eða eftirlits til nánari skoðunar[13]. Sjálfvirk viðbragðastjórnun er hægt að fá í búnað sem gerir að það að verkum að sveifluvidd og tíðni titrings stjórnast sjálfkrafa af mótstöðu jarðvegs. Lesa má nánar um sjálfvirka viðbragðastjórnun í kafla 4.5.



Mynd 41 *DCA* hugbúnaður veltara [17]

## Bomag

Valtarategundin *Bomag* hefur þjöppugildi ( $E_{vib}$ ) og hefur mælieininguna ( $MN/m^2$ ). Valtarinn er útbúinn með tvo hraðanema á tromlu sem mæla titring á tromlu og gefa þjöppugildi ( $E_{vib}$ ). Aðeins *Bomag* notar tvo mæliskynjara til að fínstilla mæli nákvæmni.



Mynd 42 Tveggja tromlu valtari frá *Bomag*



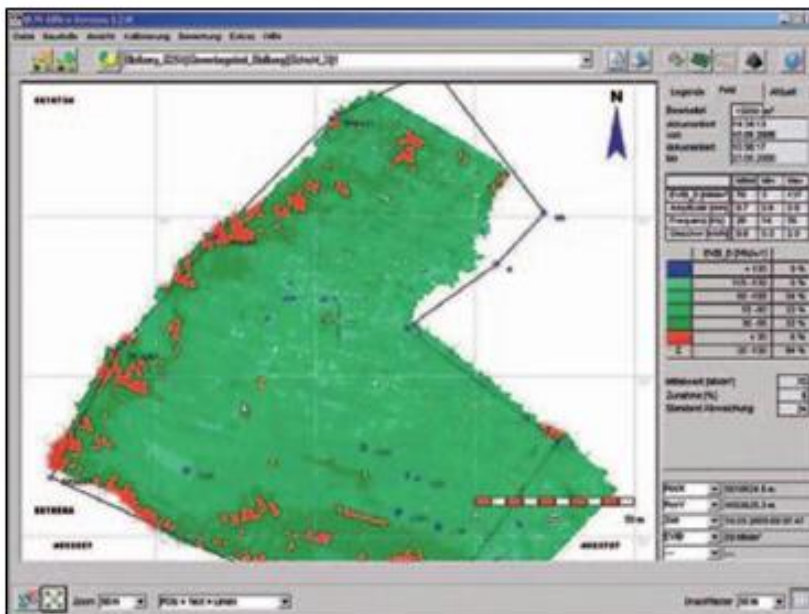
Mynd 43 Dæmi um einnar tromlu valtari frá *Bomag* [20]

$E_{vib}$ -gildið hefur verið reiknað út í samhengi við plötupróf út frá  $E_1$  og  $E_2$ . Mæliþéttleiki er 10 cm sem tryggir að hver veikburða blettur í jarðvegi finnst. Framleiðendur *Bomag* bjóða uppá gervitunglamóttakara á valtara sem skráir staðsetningu á hverjum tíma með nákvæmni uppá 20 cm.

Hugbúnaður *Bomag* er *BCM 05* sem býður uppá þægilega lausn til að skrásetja niðurstöður í rauntíma með skýringamynd þar sem litagreining er á því hvernig svæði eru þjöppuð. Með minnislykli eru gögn flutt úr valtara yfir í tölvu verkefnastjóra þar sem hægt er að skoða gögn nánar og prenta út skýrslur [20].



Mynd 44 BCM 05 skjáhugbúnaður í Bomag veltara [20]



Mynd 45 Skjáskot úr BCM-05 Office 4 hugbúnaður til framkvæma frekari greiningu gagna [20]

## Sakai

Framleiðendur *Sakai* valtarar kynntu árið 2004 mótstöðugildið *CCV* (*compaction control value*) sem er einingalaus stærð. Greiningarbúnaður skráir staðsetningu og mótstöðugildi jarðvegi sem þjappaður er. Allar mælingar eru sameinaðar í *Airthon* greiningaskjákerfi og Gögn eru flutt með minnislykli í tölvu til nánari skoðunar og notað er *CAD* forrit við úrvinnslu [21].



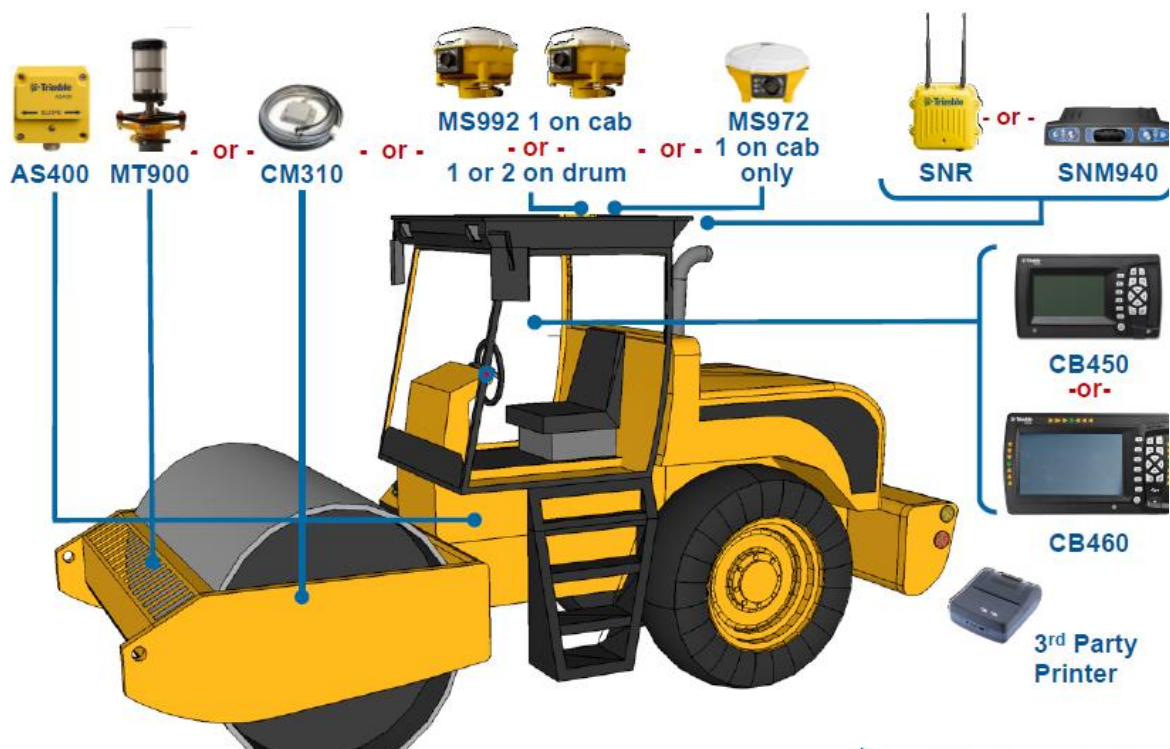
Mynd 46 Valtarabúnaður frá *Sakai*



Mynd 47 SkjáBúnaður í stýrishúsi *Sakai* og skjámynd af þjöppun [17].

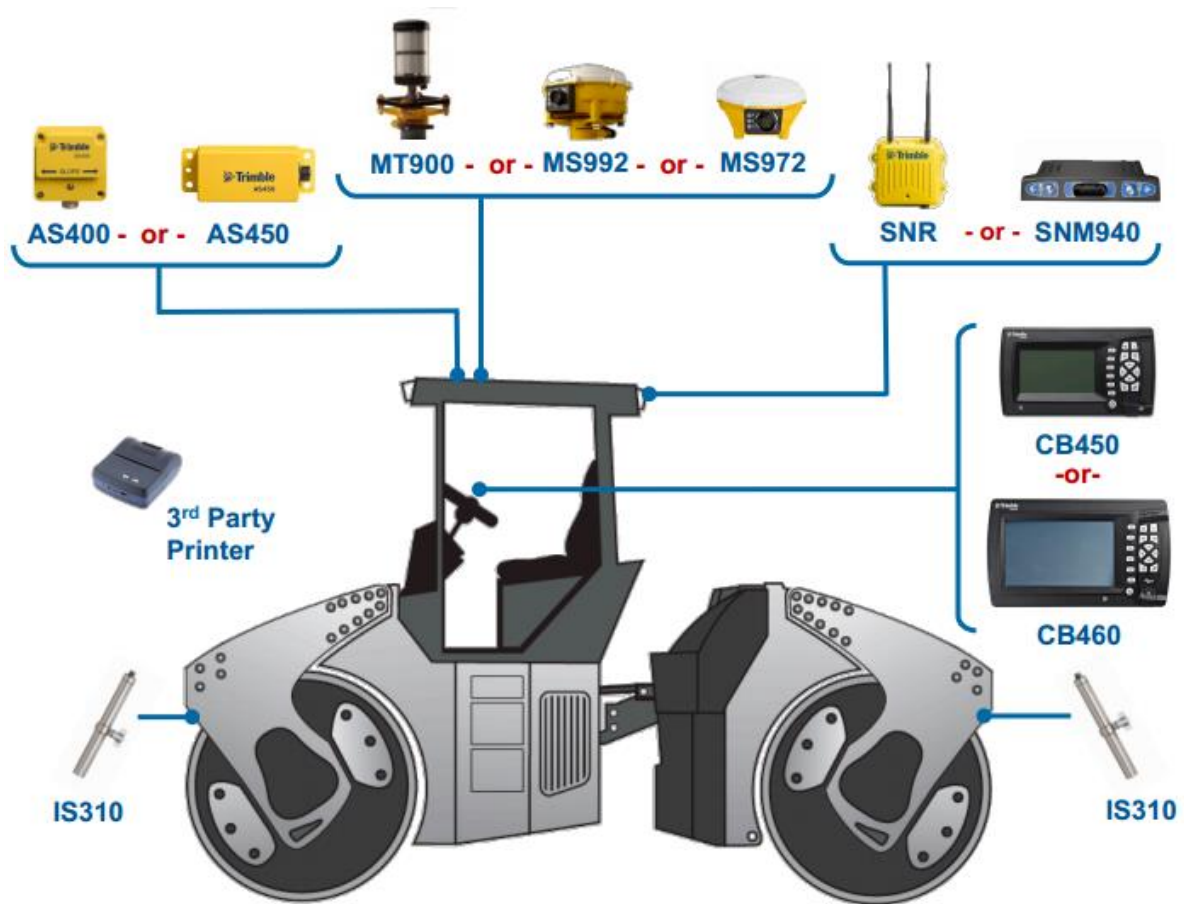
## Trimble

Trimble framleiðir mælingabúnað og hugbúnað til hvers konar landmælinga og annarra mælinga. Stöðugan þjöppustjórnunarbúnað frá Trimble er hægt að tengja í helstu tegundir valtara . Þjöppugreiningarbúnaður notast við CMV-mótstöðugildi sem er einingalaus stærð. GPS-búnaður er notaður til að fá nákvæma og einnig er valmöguleiki ef ekki næst samband við gervitungl að stilla upp alstöð sem er í sjónlínu við móttakara sem festur er á valtara [25]. Gögn úr búnaði eru skoðuð í gegnum *Visionlink* netþugbúnað sem áður hefur verið fjallað um í þessu riti.



Mynd 48 Þjöppugreiningarbúnaður frá Trimble fyrir einnar tromlu valtara [25]





Mynd 49 Þjöppugreiningarbúnaður frá *Trimble* fyrir tveggja tromlu veltara [26].



## **Viðauki 4 Dæmigerð verklýsing fyrir þjöppun**

Neðangreint efni um þjöppun er úr verklýsingu úr verkinu, *Breikkun Hringvegjar á milli Hamragilsvegjar og Hveragerðis*. Tilvísanir eru í Alverk '95.

Fyllingarefni úr námum tilvísun 33.2

*c) Fyllingu skal leggja út í lögum, að hámarki 600 mm þykkum, og skal lagþykkt ákvarðast fyrst og fremst af búnaði til þjöppunar. Hvert lag fyllingar skal ná yfir alla breidd hennar. Sökum breytileika í skeringarefninu getur þurft breytilegar þjöppunaraðferðir og/eða breytilegan þjöppunarbúnað. Í töflu í fylgiskjali 3 eru leiðbeinandi upplýsingar um val á þjöppunarbúnaði og tilsvareandi lagþykktum. Hraði valta skal vera milli 3 og 6 km/klst. Valti skal búinn þjöppumæli og mæliaflestur skráður reglulega. Verktaki skal leggja fram áætlun um þjöppun, byggða á þeim valta, sem hann hyggst nota til verksins, til samþykktar hjá umsjónarmanni verkkaupa.*

*Yfirborð undirbyggingarinnar skal vera slétt, afvatnað og fullþjappað samkvæmt kröfu 5) í kafla 52. í Alverk '95, þegar burðarlag er lagt út. Hafi yfirborð undirbyggingarinnar spillst af einhverjum ástæðum er óheimilt að leggja á hana burðarlag, nema hún hafi verið sléttuð, afvötnuð og þjöppuð að nýju.*

### **Neðra burðarlag, efni úr námum, tilvísun 52.2**

- a) Verkpátturinn innifelur gerð neðra burðarlags. Verkpátturinn skal framkvæma í samræmi við kafla 52 í Alverk '95. Verkpátturinn innifelur **efnisútleiðingun**, losun, flokkun, ámokstur, flutning, haugsetningu ef þörf er á, útlögn, þjöppun, þurrkun,*
- b) Þegar neðra burðarlag er þjappað skal ávallt telja fjölda umferða valtans og miða við lágmarksgildi í samræmi við efni og þykkt laga, eins og fram kemur í töflu í fylgiskjali 3. Upplýsingarnar í töflunni eru einnig notaðar, þegar valtar og völtunaraðferðir eru valdar með tilliti til efnis og lagþykktar.*

*Allir valtar skulu vera útbúnir siritandi þjöppumæli eða GPS tengdum þjöppumæli sem í upphafi verks skal stilltur af við niðurstöður mælinga með plötuprófi samhliða því að fastleggja lagþykktir, fjölda yfirferða, hraða valta o.s.frv. Stjórnandi valta skal halda dagbækur um völtun, þar sem fram kemur dagsetning, gerð og stærð valta, þyngd og breidd tromlu, hvar var valtað, hvaða lagþykkt er völtuð, hraði valta og fjöldi yfirferða. Endurtaka skal afstillingu þjöppumæla á minnst 2ja mánaða fresti. Hraði valta skal vera milli 3 og 6 km/klst.*

### **Efra burðarlag, efni úr námum, tilvísun 53.2**

*Þegar efra burðarlag er þjappað skal ávallt telja fjölda yfirferða valta og miða við lágmarksgildi í samræmi við efnið og lagþykktir, eins og fram kemur í töflu í fylgiskjali 3. Töfluna skal einnig hafa til hliðsjónar, þegar valtar og völtunaraðferðir eru valdar fyrir mismunandi efni og lagþykktir. Hraði valta skal vera milli 3 og 6 km/klst.*

Allir valtar skulu vera útbúnir siritandi þjöppumæli eða GPS tengdum þjöppumæli sem í upphafi verks skal stilltur af við niðurstöður mælinga með plötuprófi samhliða því að fastleggja lagþykktir, fjölda yfirferða, hraða valta o.s.frv.

Stjórnandi valta skal halda dagbækur um völtun, þar sem fram kemur dagsetning, gerð og stærð valta, þyngd og breidd tromlu, hvar var valtað, hvaða lagþykkt er völtuð, hraði valta og fjöldi yfirferða. Endurtaka skal afstillingu þjöppumæla á minnst 2ja mánaða fresti.

### **Fylling undir steyppt mannvirki, tilvísun 81.32**

c) Verktakinn má ekki vinna í frosti eða eftir frostakafla við þjöppun nema með leyfi eftirlitsmanns. Skilyrði fyrir slíkri vinnu eru m.a. að ekki séu frosnir kögglar í Þjappa þarf jarðveginn í samræmi við kröfur og gera viðeigandi prófanir til að sýna fram á burðarhæfi hans. Ef jarðvegur stenst ekki kröfur, skal fjarlægja hann og setja fyllingu í staðinn, jafnvel efni af staðnum. Við útjöfnun skal forðast aðskilnað efnis og bæta úr á fullnægjandi hátt þar sem að skilnaður verður. Ætíð skal haga þjöppun þannig að hún valdi ekki óeðlilega miklu niðurbroti á því efni sem þjappa skila. Miða skal lágmarksþjöppun í grófum fyllingarefnum með lagþykktum og tækjum samkvæmt eftirfarandi töflu (sbr. ÍST-15:1990, grein 3.4):

Tæki	lagþykkt [m]	fjöldi yfirferða
10 tonna vibróvaltari	0,8	6
5 tonna vibróvaltari	0,4	6
0,5 tonna vibróplata	0,3	4
0,1 tonna vibróplata	0,2	4
15 tonna ýta	0,25	6
10 tonna bill	0,25	6