



NOTKUN VALTARA MEÐ ÞJÖPPUMÆLI OG STAÐSETNINGAR- BÚNAÐI Í VEGAGERÐ

Áfangaskýrsla 1

31.03.2022



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2970-382-SKY-001-V01

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

XX

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Sigþór Guðmundsson

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Jón Haukur Steingrímsson

LYKILORÐ

Þjöppun, þjöppunarmælir, mótstöðumælingar,

STAÐA SKÝRSLU

- Drög
 Drög til yfirlstrar
 Lokið

DREIFING

- Opin
 Dreifing með leyfi verkkaupa
 Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Notkun valtara með þjöppumæli og staðsetningarbúnaði í vegagerð

VERKHEITI

Notkun valtara í vegagerð

VERKKAUPI

Vegagerðin

HÖFUNDUR

Jón Haukur Steingrímsson

ÚTDRÁTTUR

Síðasta áratuginn eða svo hefur verið mikil þróun í mælitækni og hugbúnaði við mælingar á þjöppun í vegagerð. Hugtökin samfelld þjöppunarstjórnun (CCC) Continuous Compaction Control og snjallþjöppun eða (IC) intelligengt Compaction eru notuð yfir þessi þjöppunarkerfi. Tæknin gengur út á að mælitæki í völturum mæla stífni jarðlaga og fyllinga samhliða því sem vinnan fer fram. Mælingarnar eru festar við nákvæma staðarákvörðun og þannig er hægt að greina og rekja hvernig ákveðin svæði í vegum hafa verið þjöppuð. Verklýsingar í vegagerð á Íslandi hafa ekki verið aðlagðar að þessari tækni, en þar hefur lengi verið miðað við handvirka skráningu á þjöppun í völtunardagbók. Sjálfur þjöppunarmælíbúnaðurinn hefur verið til staðar hjá íslenskum verktökum töluvert lengur, en það er aðeins nýverið sem hægt er að tala um að þjöppunarkerfi séu komin í notkun þar sem þessum mælingum er þá kerfisbundið haldið til haga með nákvæmri staðarákvörðun.

Það er aðeins nýverið sem reynt hefur verið að skrifa inn í verklýsingar í vegagerð kröfur um samfellda þjöppunarstjórnun og þar með sérstök gæðakerfi þar að lútandi. En það er ekki nóg, þrátt fyrir að kerfin séu að nokkru leyti komin vantar mikið upp á að þekking á kerfunum og virkni þeirra sé nægjanlega góð. Einnig virðast byrjunarsjúkdómar ennþá vera að hrjá þessi kerfi sem hafa verið frekar þung í meðhöndlun og krafist mikillar þekkingar á hverjum hugbúnaði fyrir sig til að ná gögnum út úr þeim.

ÚTGÁFUSAGA

<u>NR.</u>	<u>HÖFUNDUR</u>	<u>DAGS.</u>	<u>RÝNT</u>	<u>DAGS.</u>	<u>SAMÞYKKT</u>	<u>DAGS.</u>
01	Jón Haukur Steingrímsson Drög í vinnslu	31.03.22	Jónas Þór Ingólfsson	31.03.22	Jón Haukur Steingrímsson	31.03.22

SAMANTEKT

Síðasta áratuginn eða svo hefur verið mikil þróun í mælitækni og hugbúnaði við mælingar á þjöppun í vegagerð. Hugtökin samfelld þjöppunarstjórnun (CCC) Continuous Compaction Control og snjallþjöppun eða (IC) intelligengt Compaction eru notuð yfir þessi þjöppunarkerfi. Tæknin gengur út á að mælitæki í völturum mæla stífni jarðlaga og fyllinga samhliða því sem vinnan fer fram. Mælingarnar eru festar við nákvæma staðarákvörðun og þannig er hægt að greina og rekja hvernig ákveðin svæði í vegum hafa verið þjöppuð. Verklýsingar í vegagerð á Íslandi hafa ekki verið aðlagðar að þessari tækni, en þar hefur lengi verið miðað við handvirka skráningu á þjöppun í völtunardagbók. Sjálfur þjöppunarmælibúnaðurinn hefur verið til staðar hjá íslenskum verktökum töluvert lengur, en það er aðeins nýverið sem hægt er að tala um að þjöppunarkerfi séu komin í notkun þar sem þessum mælingum er þá kerfisbundið haldið til haga með nákvæmri staðarákvörðun.

Það er aðeins nýverið sem reynt hefur verið að skrifa inn í verklýsingar í vegagerð kröfur um samfellda þjöppunarstjórnun og þar með sérstök gæðakerfi þar að lútandi. En það er ekki nóg, þrátt fyrir að kerfin séu að nokkru leyti komin vantar mikið upp á að þekking á kerfunum og virkni þeirra sé nægjanlega góð. Einnig virðast byrjunarsjúkdómar ennþá vera að hrjá þessi kerfi sem hafa verið frekar þung í meðhöndlun og krafist mikillar þekkingar á hverjum hugbúnaði fyrir sig til að ná gögnum út úr þeim.

Skýrslan er áfangaskýrsla, þar sem enn á eftir að fara betur yfir greiningar á þeim gögnum sem hafa fallið til í vegagerð upp á síðkastið og skrásetja meira um reynslu verktaka af búnaðinum. Einnig þarf að prófa hugbúnað, bæði frá stórum framleiðendum á markaði en einnig hugbúnað sem er óháður þeim og er á margan hátt áhugaverður fyrir verkkaupa eins og vegagerðina.

Skýrslan er því nánast sem vinnuskjal, eftir er að ganga betur frá heimildum og formlegum upplýsingum. Einnig má líta svo á að umræðukaflinn sé skrifaður nokkuð frjállega til að kalla fram skoðanir og frekari umræður um þau atriði sem þar er dregið á.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana og fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	5
1 INNGANGUR	9
2 BAKGRUNNUR	10
3 HUGTÖK OG SKAMMSTAFANIR	11
4 STAÐARÁKVÖRÐUN VALTARA	12
4.1 Skráning með staðsetningarbúnaði	12
4.2 Staðarákvörðun án GNSS staðsetningarbúnaðar	13
4.3 Búnaður	13
5 ÞJÖPPUNARMÆLAR Í VÖLTURUM	14
5.1 CMV Mótstöðumælingar	14
5.2 MDP statísk viðnámsmæling - CAT	16
5.3 E_{vib} - Bomag	16
5.4 K_b (Roler Integrated stiffness) – Amman/Case	16
5.5 Dyn@lyser - Dynapac	16
5.6 Samantekt	17
6 HUGBÚNAÐUR OG ÞJÖPPUNARKERFI	18
6.1 Intelligent compaction	18
6.2 VisionLink	19
6.3 WorksOS	19
6.4 Veta	21
6.5 Önnur kerfi og minnisþingar	21
7 REYNSLA AF NOTKUN	22
7.1 Núverandi verklýsingar	22
7.1.1 Ísland – dæmi úr nýlegum verklýsingum.	22
7.1.2 Norskar verklýsingar	23
7.1.3 Staðlar	25
7.2 Reynslusögur	25
7.2.1 Berufjörður	25
7.2.2 Dynjandisheiði	25
7.2.3 Kjalarnes.	25
7.2.4 Dettifossvegur.	25
8 NIÐURSTÖÐUR – Í ÁTT AÐ LEIÐBEININGUM	26
8.1 umræður	26
8.2 Hugsanleg verklagslýsing - punktar	28
9 HEIMILDARSKRÁ	30
VIÐAUKI A PUNKTAR ÚR KYNNINGU TRIMBLE Á GREININGU Á VISIONLINK GÖGNUM ÚR DETTIFOSSVEGI	31

MYNDASKRÁ

MYND 1	Mótstöðumæling á 12 umferðum þar sem keyrt er fram og til baka, eins og sjá má þá gerist í raun ekkert eftir 4 umferðir annað en gildin sveiflast upp og niður í kringum aðfelli að ákveðnu hámarksgildi, [3]. _____	15
MYND 2	Mótstöðumæling sbr. Mynd 1. Hér er greint á milli akstursstefnu og þá kemur fram greinilegur munur á mæligildum, [3]. _____	15
MYND 3	Trimble WorksOS kerfið. Kerfinu er ætlað að tengja saman landlíkön, tæknilega umsjón og viðmót tækjastjóra í hverju tæki fyrir sig í gegnum skýjalausn. Hugbúnaðurinn og tengdur búnaður er því orðin nokkurs konar flotastjórnun. . _____	20
MYND 4	Trimble CCS900 valtarakerfið í grunninn virkar kerfið bæði fyrir staðsetningarbúnað með alstöð og gervihnattamóttökum. _____	20
MYND 5	Dæmi úr VisionLink, CMV gildi í vegi. _____	31
MYND 6	Dæmi úr VisionLink. Sjá að lagið er merkt 06 862-20 Undirbygging og lift nr. 31. Þetta er hægt að laga á skjánum. Það er tengt við hönnunargildi, það er líka hægt að skoða elevation eða hæð til greina hvaða lag er verið að vinna með, sem kæmi mögulega upp um það hvað er að gerast. Það er hægt að sía þetta meira niður í Detail glugganum. _____	32
MYND 7	Dæmi úr VisionLink. Hægt að velja svæði og deila þeim svæðum með öðrum notendum, til dæmis til að benda á hvaða svæði eitthvað er að gerast á. Til dæmis svæði með 10 umferðum eða meira, eins og sést á myndinni. Það eru þá svæðin þar sem skörun hefur verið ákveðið mikil. _____	32
MYND 7	Dæmi úr VisionLink. Sjá dæmi sem gæti verið sitt hvor hæðin á sitt hvorri hliðinni á veginum, þá kemur þetta gat á milli. _____	33
MYND 7	Dæmi úr VisionLink. Hér er hægt að sjá að um sitt hvora akbrautina er að ræða og gatið í fláanum er á milli hæða í fyllingunni. Profile tool var notað til að fá sniðið til samburðar. Litirnir sýna síðan CMV gildin í línunni sem var valin þvert á veglínuna. _____	33
MYND 10	Dæmi úr VisionLink. Hér eru settir mismunandi litir á hæð yfirborðs. Það á að vera hægt að bæta inn í þetta viðbót landmælingum, til dæmis úr gatinu á milli akbrauta. _____	34
MYND 10	Dæmi úr VisionLink. Þegar síað er niður á hæð vegyfirborðs er hægt að fá fram magntöku, hér er slegið á hversu mikið á eftir að fylla til að ná upp að styrktarlagi. _____	34
MYND 10	Dæmi úr VisionLink. Skýrslusniðmát. Hægt að nota síur til að setja upp skýrslu, hér er kallað fram „summary report“ þá eru valin ákveðin gildi til að sýna. Hægt er að velja ákveðin stöðvargildi eða tímasetningar. _____	35

TÖFLUSKRÁ

No table of figures entries found.

1 INNGANGUR

Verkefnið er framhald af fyrra rannsóknarverkefni sem Gunnar Sigurgeirsson og Sigurpór Guðmundsson, starfsmenn Vegagerðarinnar unnu að. Tilgangur með verkefninu er að útbúa verklag sem miðar að því að gera gæðaeftirlit með þjöppun í vegagerð skilvirkara. Rauntímaskráning þjöppunarmælingar valtara getur lágmarkað frávik frá kröfum og þar með gæðum í uppbyggingu vega og annarra mannvirkja þar sem tryggt er að steinefni verður hvorki van né of þjappað. Þannig fæst einnig mæld þjöppun í öllum hlutum vegar í stað punktmælinga með plötuprófi eins og nú tíðkast.

Í tengslum við fyrra rannsóknarverkefni hefur krafa verið gerð í útboðsgögnum um að búnaður til rafrænnar skráningar sé til staðar í nokkrum verkefnum, svo sem Hringvegi í Mosfellsbæ, Hringvegi á Kjalarnesi, Dynjandisheiði og Gufufirði.

Markmið með verkefnisins er koma á verklagi sem gerir mögulegt að skrásetja betur þjöppun á öllum stigum vegbyggingar en nú er gert. Þannig verða gæði meiri í nýbyggingum sem og endurbótum sem stuðlar að langlífri mannvirkjum og lægri viðhaldskostnaði. Til þess að það verði að veruleika þarf að horfa á verkin í heild, allt frá hönnun að framkvæmd. Mögulega þarf að endurskoða hvernig hvert lag undirbyggingar er skilgreint og hvort sömu kröfur eru gerðar á öllum stigum uppbyggingar. Rauntímaskráning þjöppugilda gerir öllum aðilum verks, hvort sem er verktaka, eftirliti eða verkkaupa, kleift að fylgjast með á hlutlægari hátt en út frá tilfinningu valtarastjóra eða einfaldri talningu yfirferða sem segir ekki alltaf alla söguna

Ávinningur er að þjöppun í öllum hlutum nýbyggingar verði þekktar stærðir í stað þess sem nú eru bara punktmælingar eða stakar prófanir á efstu lögum. Þannig verður einnig hægt að grípa inn í rauntíma og lágmarka frávik frá fyrir skrifuðum gæðum og að til verður rekjanleiki. Til lengri tíma litið má ætla að þjöppunarvinna verði skilvirkari og þannig einnig verktaka til góðs þar sem færri endurtekningar verða og ónauðsynleg skörun í völtunnar umferðum verður í lágmarki. Ávinningur verður ekki endilega að fullu ljós fyrr en talsverð reynsla er komin á verklagið og þau mannvirki þar sem stuðst er við verklagið eru búin að vera í notkun í einhvern tíma.

2 BAKGRUNNUR

Vinna hefur staðið yfir við rannsóknarverkefnið frá 2021 hjá starfsmönnum Vegagerðarinnar. Fór hún þó seinna af stað en vonast var til og hefur vinnuframlag einna helst fallið til innan útboðsverkefna sem þeir stýra. Hefur sú vinna komið því til leiðar að kröfur um búnað til skráningar hafa verið skrifaðar inn í útboðsgögn verka til að mynda Hringveggar um Mosfellsbæ og Kjalarnes, Suðurlandsveg við Bæjarháls, Gufufjörð, Dynjandisheiði og Þorskafjörð. Í kjölfarið eru nú til raungögn frá Hringvegi um Mosfellsbæ og gera má ráð fyrir að gögn frá Dynjandisheiði og Kjalarnes verði aðgengileg.

Hér verður að svo stöddu ekki farið í langt mál um þjöppun, aðferðir og eftirlitsmælingar, þeim hluta eru gerð ágæt í skil í BSc verkefni Davíðs Sigurðssonar „Völtun í Vegagerð, Leiðbeiningar og þróun verklags“ frá 2014. En það verkefni var unnið undir leiðsögn Haraldar Sigursteinssonar hjá Vegagerðinni, [1].

3 HUGTÖK OG SKAMMSTAFANIR

IC Intelligent Compaction – Snjallþjöppun?

ICMV Intelligent Compaction Measurement Value – vantar þýðingu.

CCC Continuous compaction control – Samfell þjöppunarstjórnun

CMV Compaction Meter Value eða Compaction Measure Value. Mæling á stífni undirlags. Einingarlaus mótstöðumæling á titringi tromlu valtare,

DMP Drive Machine Power (CAT kerfi) - Mæling á mótstöðu í akstri

GNSS - Global Navigation Sattelite System. Samheiti yfir öll staðsetningarkerfi sem byggja á gögnum frá gervitunglum

GPS - Global Positioning System: Bandarískt staðsetningarkerfi, eitt af fleiri GNSS kerfum í boði.

FWD - Falllóð

4 STAÐARÁKVÖRÐUN VALTARA

4.1 Skráning með staðsetningarbúnaði

Til að fá jafna þjöppun í vegi er mikilvægt að allt vinnusvæðið sé valtað í jafn mörgum umferðum. Það getur verið erfitt að fylgjast með því á staðnum bæði fyrir tækjastjórnendur en ekki síst fyrir tæknimenn verktaka og eftirlit. Með sjálfvirkri skráningu á staðsetningu eða staðarákvörðun valtarans er mögulegt að fá nauðsynlega yfirsýn á hverjum tíma.

Það eru nokkur kerfi sem eru í boði sem byggja á notkun gervihnatta, GPS tæknin er eitt af þeim en almennt er vísa til slíkrar tækni sem GNSS (Global Navigation Satellite System) sem er samheiti yfir öll staðsetningarkerfi sem byggja á merkjum frá gervitunglum. Önnur kerfi eru GLONASS (Rússland) Galileo (Evrópa) og BeiDou (Kínverskt).

Sumir móttakarar hafa þann möguleika að taka á móti merkjum frá mörgum kerfum, meðan önnur notast bara við eitt kerfi og er bandaríska GPS kerfið sennilega algengast í dag. Það að geta tekið inn merki frá fleiri en einu kerfi eykur nákvæmni staðákvörðunarinnar. Staðarákvörðun í vélstýringum í vinnuvélum er oftast nánast í landmælinganákvæmni í grunninn. Þó er á markaðnum tækjabúnaður sem sýnir grófari staðsetningu sem er á pari við ódýr GPS tæki sem eru ætluð til rötunar. Slík tæki sýna mögulega afstöðu miðað við veglínu og geta talið umferðir en eru varla nógu nákvæm til að hægt sé að stjórna skörun á milli umferða.

Búnaðurinn á valtaranum á að vera til stuðnings fyrir stjórnandann. En æskilegt er að hægt sé að taka út gögn til að leggja fram til verkkaupa sem sýnir fram á að vegurinn hafi verið þjappaður samkvæmt áætlun. Að auki mun, eða ætti slík skráning að gera það mögulegt fyrir eftirlit verkkaupa að fara yfir og sannreyna að þjöppun hafi farið eðlilega fram á svæðum sem kunna að verða til vandræða síðar eftir að vegurinn er tekinn í notkun.

Til að skrásetja þjöppun á hverju lagi á sama vegsvæði verður að skilja á milli yfirferða í hverju lagi fyrir sig. Framleiðendur á bæði staðsetningarbúnaði og tengdum hugbúnaði hafa nokkuð ólíkar aðferðir til að leysa þessi mál. Á einfaldan hátt er hægt að skipta svæðum upp eftir tímasetningum og skila gögnum yfir ákveðin tímabil á ákveðnum vegsvæðum fyrir hvert lag í fyllingu eða yfirbyggingu. Vinna skal eftir þjöppunaráætlun, þá skal völtun framkvæmast í ákveðnu munstri þar sem skörun umferða er

skilgreind. Staðsetningarbúnaður valtarans getur þá einnig nýst til að staðfesta að valtarinn hafi verið keyrður eftir réttu plani eða munstri þrátt fyrir að það sé ekki beinlínis tilgangur skráningarinnar. Staðsetningargögn fyrir valtara skulu samkvæmt norsku Vegagerðinni vera með +/- 20 cm nákvæmni í plani. Mælingarnar eru ekki taldar nothæfar til nákvæmrar hæðarsetningar og því gera Norðmenn til dæmis ekki kröfu um ákveðna nákvæmni á í hæð. Staðsetningarbúnaður í valtara skal heldur ekki notast við einhvers konar lokaúttektir eða mælingar til að staðfesta gæði þjöppunar. Heldur aðeins til mælinga í vinnuferlinu og til að staðfesta að vegsvæðið hafi verið innbyrðis jafnt þjappað, án helgidaga eða ónauðsynlegrar skörunar. Tilgangurinn er þá að sýna fram á að þjöppunarátlaninni hafi verið fylgt eftir. Það gildir hvort sem heldur mótstöðumælingar eða aðrar mælingar á sjálfri þjöppuninni eiga við eða ekki. Þar sem skráningar eru sjálfvirkar ætti þetta ekki að verða til þess að vinna við völtun taki lengri tíma. Í raun mætti færa rök fyrir því að völtun tæki styttri tíma, þar sem stjórnandi tækisins hefur góða yfirsýn með rétttri talningu umferða og vinnur skipulega, án ónauðsynlegrar skörunar. Þess vegna er krafa um 20 cm nákvæmni æskileg að mati norsku vegagerðarinnar.

4.2 Staðarákvörðun án GNSS staðarákvörðunarbúnaðar

Til framtíðar ætti það að vera meginregla að skráning á staðsetningu valtara sé með GNSS búnaði. Í göngum og öðrum svæðum sem kunna að vera takmarkandi fyrir slíkan búnað sem byggir á tengingu við gervitungl, virkar sá búnaður ekki. Við slíkar aðstæður getur annar búnaður nýst við staðfestingu þjöppunar, en sá búnaður verður þá að vera með sömu nákvæmni og áður hefur verið nefnt. Niðurstöður þurfa að vistast sjálfkrafa í tækjum og birtast á skjá stjórnanda á kortaformi með miðlínu og köntum. Ef átlunin er að vera með sambærilega nákvæmni og fæst GNSS staðsetningartækjum er fátt í boði annað en að notast við alstöðvarmælingar, svipaðar og eru notaðar á vegheflum við nákvæma afréttingu á vegyfirborði. Líklega er nokkuð langt í land með að það verði almennt verklag. Slík kerfi eru þó í boði, Trimble er í það minnsta með slíkt kerfi sem vinnur með alstöð.

Einnig eru valtara með einföldum vegalengdarmælum sem byggja á snúningi tromlunnar. Með nákvæmum merkingum á stöðvarbilum og sé allt þversniðið tekið fyrir í einu samkvæmt fyrir fram skilgreindum brautum er mögulegt að nýta slík kerfi. Slík vinnubrögð krefjast aga í umgengni og hætt er við að ýmislegt fari úr skorðum í framkvæmdinni sem leiðir ýmist til van- eða jafnvel oftari ofþjöppunar vegna of mikillar skörunar á milli svæða. Slík kerfi geta þó sýnt fram á fjölda yfirferða á gefnu stöðvarbili, hraða og CMV gildi síðustu umferðar. Þessar upplýsingar hjálpa tækjastjórnendum augljóslega en þegar kemur að því að afhenda gögn úr slíkum tækjum hefur jafnan eitthvað farið úr handaskolum og erfitt reynist ná gögnum úr tækjunum, vistun fer úrskæiðis eða stjórnendur hreinlega kunna ekki á tækin. (Dynapac kerfið).

4.3 Búnaður

Trimble, Topcon, Leica. Nánari umfjöllun um Topcon og Leica.

5 ÞJÖPPUNARMÆLAR Í VÖLTURUM

5.1 CMV Mótstöðumælingar

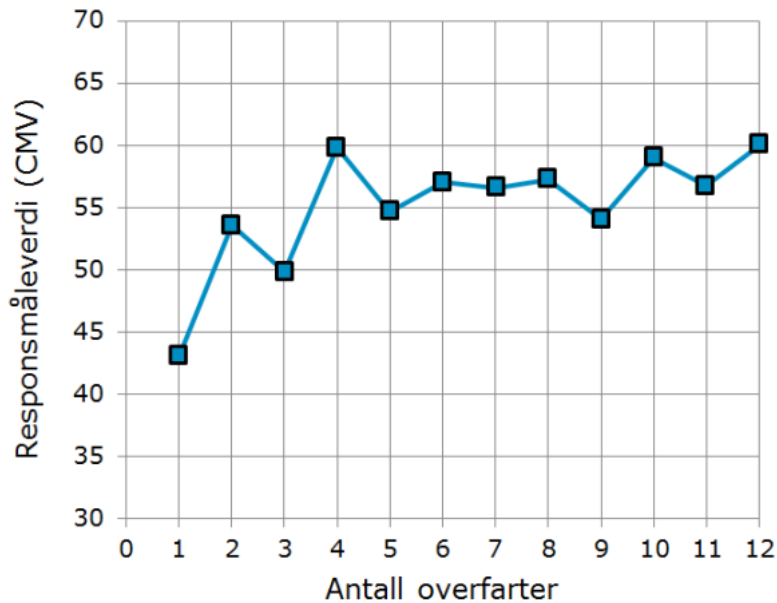
Mótstöðumælar nota upplýsingar frá skynjara sem er staðsettur á tromlu valtarans sem skráir titringshreyfingar á tromlunni. Mæld hreyfing á tromlunni vikur frá stillingu á titringi þar sem mótstöðukraftur jarðvegsins kemur á móti og hefur áhrif á hreyfingar tromlunnar. Með því að bera saman hreyfingar tromlunnar við stillingar valtarans sýna mótstöðumælingar hversu stíft undirlagið er miðað við ákveðið kennigildi. CMV er mæling sem skilar einingarlausum stífleikastuðli.

Handbók norsku Vegagerðarinnar N200, [2] (áður Hb-018) lýsir hvernig nota skal mótstöðumælingar við skipulagningu völtunar. Með því að greina niðurstöður mótstöðumælingar frá prufufyllingu er hægt að ákveða hversu margar yfirferðar eru nauðsynlegar fyrir tiltekið tæki, aðstæður og kröfur. Þá er ekki tekið tillit til breytileika í rakastigi fyllingarefnis eða sem er kannski algengara hér á landi sem er veðurfars á verk tíma sem getur verið afar breytilegt.

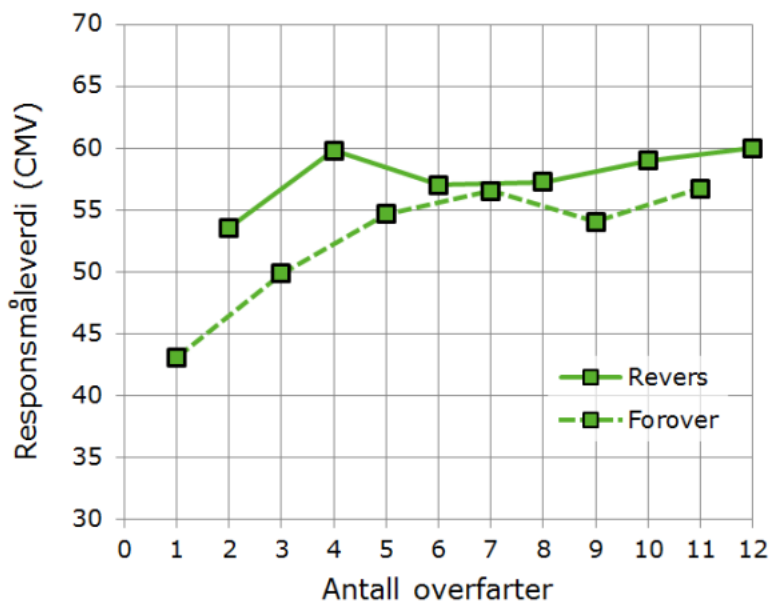
Ein af aðferðunum til að eiga við þetta er að skoða breytingar í mældri mótstöður á milli umferða. Til að hægt sé að nota mælingarnar á þennan hátt er bráðnauðsynlegt að staðsetning valtarans sé vel þekkt á hverjum tíma. Ef breytingarnar eru mjög miklar á milli umferða sýnir það að viðkomandi lag getur áfram tekið við meiri þjöppun, en þegar lítil sem engin breyting verður á milli umferða er áframhaldandi þjöppun tilgangslaus og því ætti ekki að þjappa það svæði frekar, þar sem meiri hætta er á óæskilegu niðurbroti í yfirborði fyllingarinnar. Við slíkar aðstæður gæti niðurstaðan mögulega versnað á milli umferða sem er skýrt merki um ofþjöppun. Núverandi verklýsingar eru gjarnan settar upp með ákveðinn fjölda umferða miðað við lagþykkt og þyngd valtara. Þá er í sjálfu sér gengið út frá því sem vísu að meira að sé betra og horft er framhjá mögulegu niðurbroti í efninu. Ef sýnt er fram á með mótstöðumælingum og nákvæmri staðsetningu að ekki sé hægt að ná meiri þjöppun þá ætti ekki að þjappa viðkomandi svæði meira, jafnvel þó fyrirskrifuðum fjölda umferða sé ekki náð.

Notkun mótstöðumælinga í völtun ætti því að vera til hagsbóta fyrir tækjastjórnendur, þrátt fyrir að ekki séu settar upp kröfur um slíkar mælingar. Með því að fylgjast með framgangi þjöppunarinnar jafnóðum koma í ljós veik svæði þar sem þarf að þjappa meira og því er hægt að bregðast við og þjappa þau svæði betur. Norskar rannsóknir á notkun mótstöðumælinga hafa sýnt að við samanburð á mótstöðumælingum á milli umferða verður að taka tillit til akstursstefnu, en stefna valtarans getur haft

áhrif á mælingar á stífni jarðvegsins því ætti helst að bera aðeins saman gildi úr sömu akstursstefnu. Það er ekki beinlínis hægt að fullyrða að ein stefnan sé réttari en önnur þar sem verið er að skoða breytileika í mælingunni en ekki mæligildið sjálf. Svo lengi sem breytingar á milli umferða eru skoðaðar kemur í ljós mikil þjöppun í byrjun sem smám saman minnkar og þar með hefur mæligildið sem slíkt minna gildi.



MYND 1 Mótstöðumæling á 12 umferðum þar sem keyrt er fram og til baka, eins og sjá má þá gerist í raun ekkert eftir 4 umferðir annað en gildin sveiflast upp og niður í kringum aðfelli að ákveðnu hámarksgildi, [3].



MYND 2 Mótstöðumæling sbr. Mynd 1. Hér er greint á milli akstursstefnu og þá kemur fram greinilegur munur á mæligildum, [3].

Seinni myndin sýnir sömu skráningar og á fyrri myndinni en hér er búið að greina á milli akstursstefnu. Þá kemur greinilega í ljós munur á stífleika eftir því í hvora áttina er ekið og aðfellan að hámarksgildinu er með minna fráviki.

5.2 MDP statísk viðnámsmæling - CAT

MDP kerfið (Machine Drive Power) frá CAT er í grunninn þannig að það skilgreinir hversu miklu viðbótarorku (KJ/s) valtarinn þarf til að keyra yfir ákveðin fyllingarefni umfram þá orku sem þurfti til að keyra yfir skilgreina profufyllingu eða kvörðunarfyllingu. Þar með sýnir jákvætt MDP gildi að ekki sé búið að ná sömu stífni og á kvörðunarfyllingunni. Á sama hátt þýðir neikvætt MDP gildi að stífni fyllingarinnar sem verið er að þjappa sé orðin meiri í kvörðunarfyllingunni vegna þess að það þarf minni orku til að keyra valtarann áfram. Talið er að í samanburði við CMV sem mælir tíðnibreytingar í tromlu valtarans og þar með stífni undirlagsins, þá sýni MDP betur stífni í efsta lagi fyllingarinnar þ.e. efstu 30-60, á meðan CMV sýnir stífni dýpra í fyllingunni. MDP á því að passa betur við kvörðun á léttum færanlegum búnaði eins og falllóði og Troxler mælum.

5.3 E_{vib} - Bomag

E_{vib} er svipuð mæling og CMV. Kerfið er hannað og notað af Bomag og skilar mælingum á fjaðurstuðli undirlagsins í MPa.

Skoða betur.

5.4 K_b (Roler Integrated stiffness) – Amman/Case

Mæling á stífni undirlags. Kerfið er hannað af Ammann/Case og skilar niðurstöðum í MN/m)

Skoða betur.

5.5 Dyn@lyser - Dynapac

Kerfi frá Dynapac. GNSS staðarákvörðun bæði differential GNSS og RTK-GNSS í boði. Mælingar á stífni sett fram sem CMV eða E_{vib} ásamt framvindu þjöppunar meðal annars sem hlutfallsleg breyting á stífni milli umferða. Kerfið virkar sem bæði gæða- og framleiðslustjórnun þar sem hægt er að taka inn fleiri en eitt tæki. Tvö eða fleiri tæki á sama verkstað eiga í beinum þráðlausum samskiptum sín á milli, þannig er hægt að samræma á umferðum og mótstöðumælingar innan afmarkaðra svæða. Hægt að setja upp miðað við þjöppun að markgildi eða sem framvindumæling þar sem stefnt er að ákveðinni lágmarksbreytingu á milli umferða.

Ekki talað um skýjalausn eða skýrslusnið sem eru í boði. – ath betur.

Seismic ABC (Anti Bounce Control) er leiðréttingarkerfi sem notar mótstöðumælingar eins og CMV þar sem mæligildi á tromlu eru borin saman við sambærilegar mælingar á stýrishúsi tækisins. Titringstíðninni er þá breytt sjálfkrafa miðað við ákveðið markgildi sem hægt er að setja fyrirfram til

dæmis miðað við þrúfufyllingu. Með aukinni stífni undirlagsins breytist því titringur tromlunnar og með því að nota hreyfingar stýrishúsins sem viðmiðum er sjálfkrafa slökkt á titringi eða tíðni breytt.

5.6 Samantekt

Level	Model	Index	Applicability		Correlation	Effectiveness in the "double jump" stage	Layer-specific behaviors
			Soil	Asphalt mixture			
1	Vibratory frequency reactive model	CMV , RMV CCV THD F_t	Yes	Yes	Weak or poor	No	No
				–			
2	Static rolling resistance reactive model	OMV MDP	Yes	Yes	Weak or poor	–	No
				–			
3	Continuous roller and half-space layered model	E_{vib} E Ω K_s	Yes	Yes	Satisfactory	No	Difficult
				Yes			
				Yes			
4	Dynamic impact model	VCV	Yes	–	Good	Yes	Yes
5	Artificial intelligence model	ρ_{ODMS} M_{NN}	Yes	–	Excellent	Yes	Yes
				Yes			

6 HUGBÚNAÐUR OG ÞJÖPPUNARKERFI

Þjöppunarkerfi og hugbúnaður þeim tengd eru í raun þríþætt kerfi, þar sem saman koma mælingar á mótstöðu jarðvegs, staðarákvörðunartækni og svo dreifing á gögnum út á við í gegnum stafræna skýjalausnir, enska hugtakið „*measure-map-share*“ hefur verið notað í þessum tilgangi. Í seinni tíð með aukinni snjalltækni sambærilegri og við sjálfkeyrandi bíla er tæknin að þróast meira í átt að frekari sjálfvirkni þar sem stefnt er á stjórnun á þjöppunarorku og beinni akstursstýringu á tækjunum, sem þá er farið að kallast „*Intelligent compaction*“. Hvernig þessi markaður þróast á komandi árum verður því mjög forvitnilegt. Sú tækni sem hefur verið í boði hingað til hefur þurft nokkuð mikla aðkomu tæknimanna með sérhæfða þekkingu á hverju kerfi fyrir sig. Tæknin hefur því ef til vill ekki nýst að fullu þar sem vandræði hafa verið við yfirfærslu á gögnum, stillingar og uppsetning þjöppunarplana, uppsetning á fyrirfram ákveðnum lagþykktum og síðan útskriftir á skýrslum hafa ekki alltaf gengið fullkomlega eftir. En miðað við hvað sérfræðingar framleiðanda hafa náð að slíta út úr þessum kerfum er býsna mikið og í raun til að uppfylla algeng skilyrði í verklýsingum. Heilt yfir hefur tæknin því líklega ekki verið nægjanlega notendavæn.

6.1 Intelligent compaction

Hugtakið „*Intelligent compaction*“ (IC) sem mætti þýða sem „*snjallþjöppun*“ byggir á því að mælitækni við völtun sé með hálfgerða gervigreind sem á vissan hátt leiðréttir ferlið. Það væri til dæmis valtari sem getur sjálfur séð um að breyta stillingum vélarinnar til að laga þjöppun að þeim fyllingum sem verið er að þjappa. Slík tæki gætu þá greint í rauntíma skráðar mælingar og stöðva titring þar sem tilteknum fjölda yfirferða er náð, eða að tiltekinni stífnri sé náð til að hindra niðurbrot í efninu. Annað atriði væri að breyta tíðni titrings með aukinni stífnri til að tryggja að efsti hluti lagsins sem verið er að þjappa sé með sömu stífnri of aðrir hlutar lagsins. Þekkt vandamál í þjöppun er einmitt að los verður á efsta laginu við margar yfirferðir sem leiðir til þess að plötupróf falla á mælingum á E2/E1 hlutfalli. Snjallþjöppun er því hugsuð sem hjálpartæki fyrir stjórnanda valtarans og gerir það að verkum að mælingar úr þjöppumælum nýtast betur til að uppfylla kröfur um verklag og gæði.

Vefsíður um snjallþjöppun:

www.intelligentcompaction.com

Framleiðendur þjöppunarbúnaðar með IC þjöppunarkerfum

- Ammann/Case
- Bomag
- Caterpillar
- Dynapac
- Hamm-Wirtgen
- Sakai

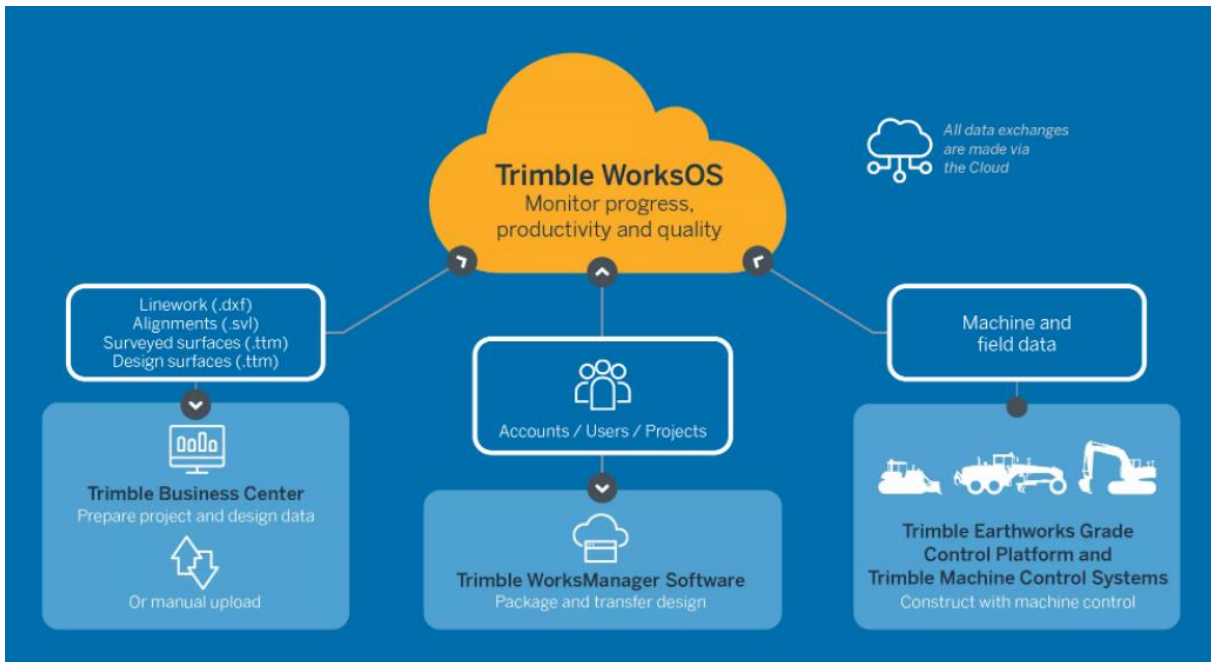
6.2 VisionLink

Trimble er sennilega sá aðili sem er með hvað sterkasta nærveru á íslenska markaðnum í ýmis konar landmælingatengdum búnaði að öðrum ólöstuðum. VisionLink kerfið hefur verið notað í nokkrum verkum á Íslandi, til dæmis á Dettifossvegi, Dynjandisheiði, Berufirði og á Kjalarnesi. Kerfið fyrir þjöppunarbúnað var samhæft milli Trimble og Caterpillar árið 2017, en hvorir um sig eru stórir aðilar á markaðnum á sínu sviði. VisionLink er gagnasamskiptakerfi sem er upphaflega sett upp sem flotastjórnunartækni. Þar sem staðsetningarbúnaðurinn er í aðalhlutverki en síðar bætast við gögn úr mótstöðumælingum við kerfið og þar með var hægt að greina ýmis gildi úr mótstöðumælingum, hraða tækis, fjölda yfirferða, skörun og fleira. Að því leytinu til uppfyllti tæknin þá þær kröfur sem gjarnan voru settar fram í verklýsingum um þjöppunardagbók. VisionLink er nú á útleið. Til að halda utan um tækjaflotann er þá stefnir Trimble á WorkOS, en Cat er með í þróun „CAT Command“ er hálfsjálfvirk akstursstýring á völturum og getur stjórnað hraða, stefnu, beygjum samkvæmt þjöppunarplani og samfelldum mótstöðumælingum.

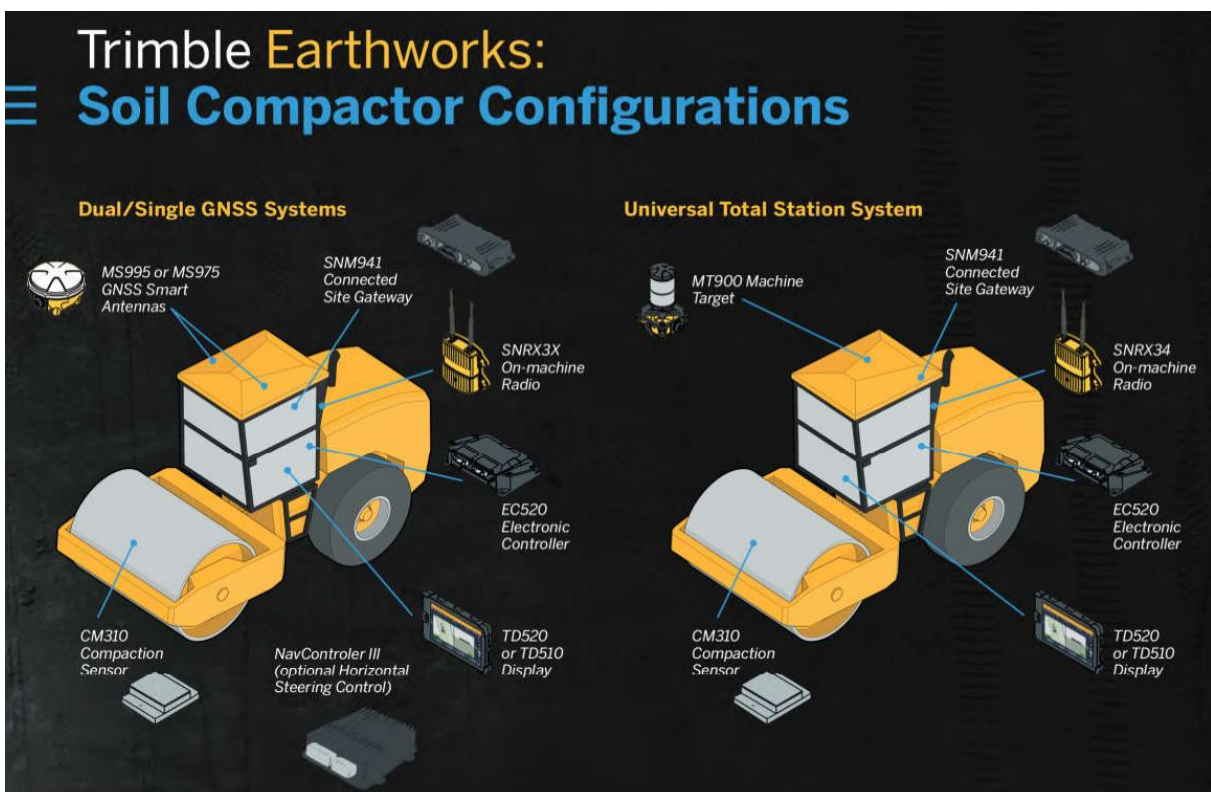
6.3 WorksOS

WorksOS. Samhæfð skýjalausn frá Trimble sem tengir saman gögn frá Trimble Business Center (landmælingar landlíkön, hönnunarlínur), Trimble WorksManger sem er notendaviðmót tæknilegra stjórnenda og svo gögn úr vélstýringum tækjaflotans Trimble Earthworks Grade Control og Trimble Machine Control). Gögnin úr valtaranum koma í gegnum Grade Control kerfið sem tækjastjórnandinn sér á snertiskjá í vélinni en gögnin færast líka í rauntíma yfir í WorksManager. WorksManager er því nokkurskonar flotastjórn, þar sem fyrirtækið er með einn aðgang fyrir mörg tæki. Árgjald fyrir WorksManager er um 500.000 kr/ári og virðist það standa nokkuð í verktökum meðan að Vision Link var á 15-20.000 kr/mánuði fyrir hvert tæki. WorksManager virðist ekki vera með aðgengi fyrir ytri aðila eins og eftirlit verkkaupa, nema þá að þeir aðilar séu með forritið uppsett og með sambærileg leyfi og verktakinn. Eins og er enginn verktaki kominn í þessa lausn. Snertiskjáriinn fyrir þetta kerfi er sambærilegur og er notaður í vélstýringum fyrir jarðýtur og hefla sem ætti að vera til hagsbóta þar sem útlit og viðmót er þá kunnuglegra fyrir tækjastjórnendur.

Þetta kerfi frá Trimble er komin á það stig að geta kallast Intelligent Compaction (IC) kerfi. Þar sem kerfið getur gripið inn í og þess vegna lagt upp þjöppunarplan eftir skilgreindum flötum og metið sjálft hvenær nægjanlegri þjöppun er náð miðað við fyrirfram ákveðin skilyrði. Kerfið býður upp á að skýrsluviðmót, en eins og áður sagði hefur lítið reynt á þetta kerfi á Íslandi þar sem það er frekar nýlegt.



MYND 3 Trimble WorksOS kerfið. Kerfinu er ætlað að tengja saman landlíkön, tæknilega umsjón og viðmót tækjastjóra í hverju tæki fyrir sig í gegnum skýjalausn. Hugbúnaðurinn og tengdur búnaður er því orðin nokkurs konar flotastjórnun. .



MYND 4 Trimble CCS900 valtarakerfið í grunninn virkar kerfið bæði fyrir staðsetningarbúnað með alstöð og gervihnattamóttökum.

6.4 Veta

Veta hugbúnaðurinn er grunninn landupplýsingakerfi. Það getur tekið inn mismunandi skráarsnið sem koma frá ólíkum framleiðendum. Kerfið býður upp úrvinnslu og greiningu á hrágögnum frá tækjunum og framsetningu á auðskiljanlegra formi eins á gröfum eða teikningum.

Veta er nokkru leyti afrakstur úr umfangsmiklu þróunarverkefni Bandarísku alríkis þjóðvegastofnunarinnar (FHWA). Hugbúnaðurinn er því hannaður með það að markmiði að geta tekið inn gögn frá mismunandi framleiðendum og er því nokkuð spennandi valkostur við móttöku og greiningu á niðurstöðum.

Þar sem Veta stendur fyrir utan kerfin sem framleiðendur selja virðist það ekki vera með möguleika á sitengingu við tæki á verkstað, heldur verður að senda skrár úr völturunum og hlaða þeim inn í kerfið. Það býður hins vegar upp á nokkuð góða greiningarmöguleika og þar með útskrift á skýrslum. Í næsta áfanga þarf að prófa þetta kerfi með gögnum sem eru nú til staðar.

6.5 Önnur kerfi og minnispunktar

- EarthWorks OS – vélstýringabúnaður og magntökukerfi (samkvæmt umsögnum virkar hann bæði með öðrum kerfum og sem stand alone kerfi)
- Clue (Flotastjórnunarkerfi)

Minnispunktar:

- Smart compaction
- Ath mun á mælingum miðað við tíðni, mótstöðu á tromlu og svo sjálfstaðar mælingar Dynapac
- Skilgreina mismunandi mælingar á þjöppun

7 REYNSLA AF NOTKUN

7.1 Núverandi verklýsingar

Kröfur um þjöppun koma víða við í verklýsingum Vegagerðarinnar. Allur gangur er á því hvar slíkar lýsingar enda. Það getur verið ýmist í almennri lýsingu eða sérverkslýsingu. Þá eru gjarnan sérstakar kröfur í mismunandi hlutum veghlotsins, þ.e. fyllingu, styrktarlagi og burðarlagi. Það er í sjálfu sér eðlilegt, en þó má ætlast til þess að kröfur um skilagögn séu innbyrðis í samræmi. Einnig kemur fyrir að margir vegir eru í einu verki eykst enn á misræmið. Hér að neðan fylgja nokkrar úrklippur úr verklýsingu fyrir Hringveginn á Kjalarnesi sem nú er unnið að, þar er ýmist beðið um stafræn gögn, þjöppunardagbók, eða útprentaðar skýrslur úr þjöppunarmælum.

7.1.1 Ísland – dæmi úr nýlegum verklýsingum.

Kjalarnes – fylling (2020). Liður 8.2:

Mæling á þjöppun með plötuprófi skal gera á 100 m millibili. Gerð er krafa um þjöppumæli með staðsetningarbúnaði í valta. Mæligildi þjöppumælis skal kvarða með tilraunaþjöppun og sýna fram á með plötuprófi að tilskilinni þjöppun séð náð. Þjöppun telst fullnægjandi ef hækkun á þjöppugildum milli umferða er minni en 5–10%. Yfirlöppun umfram 5 cm er ekki leyfð í völtun. Mæligildum úr þjöppumæli skal skila á stafrænu formi á þar til gerðum hugbúnaði þar sem hægt er að skoða og meta niðurstöður.

Kjalarnes – styrktarlag (2020) - c-liður:

Verktaki skal leggja fram áætlun um verklag við þjöppun, til samþykktar hjá verkkaupa. Áætlunin skal taka til tegunda tækja, fjölda yfirferða, lagþykkta og aðferða til að sannreyna þjöppunina. Hraði valta skal vera milli 3 og 5 km/klst. Ávallt skal þjappa efni við það rakastig sem tryggir besta þjöppun og skal miða við það rakastig þar sem hæst þurr rúmþyngd næst í Modified Proctor prófi. Stjórnandi valta skal halda dagbækur um völtun, þar sem fram kemur:

- *Dagsetning*
- *gerð og stærð valta*

- byngd og breidd tromlu
- hvaða vegstæði var valtað
- hvaða lag í vegi
- lagþykkt
- hraði valta
- fjöldi yfirferða.

d-liður:

Sýna skal fram á þjöppun efnis með einni af eftirtöldum aðferðum:

Einn liður er þá 3):

Með kvörðuðum mæligildum úr þjöppumæli. Þjöppumæli skal kvarða með tilrauna-þjöppun og sýna fram á með plötuprófi að tilskilinni þjöppun sé náð. Þjöppun telst fullnægjandi ef hækkun milli umferða er minni en 5–10%. Tilraunaþjöppun skal gera á vegarkafli sem hefur einsleita efnisgerð og undirstöðu og skulu prófin gerð á veikustu svæðum kaflans. Endurtaka skal kvörðun þjöppumælis á minnst 2 mánaða fresti eða eftir hverja 15.000 m² sem unnir hafa verið og eins ef skipt er um efnistökuastað, breyting verður á efnisgerð, undirbygging breytist o.s.frv. Mæligildi þjöppumælis í valta skal prenta út fyrir allt þversnið vegarins og skila því á tölvutæku formi.

Liður 63.40 kaldblandað malbik (burðarlag) Sérverklýsing.

Allir valtar skulu útbúnir þjöppunarmæli með siritandi skýrslugjafa og staðsetningartæki. Mæligildi þjöppumælis í valta skal skila inn fyrir allt þversnið vegarins á tölvutæku formi, grafískt uppreiknað. Stjórnandi valta skal halda dagbók þar sem fram kemur dagsetning, gerð og stærð valta, byngd og breidd tromlu, hvaða vegarkafli er valtaður, hvaða lag í vegi, lagþykkt, hraði valta og fjöldi yfirferða.

7.1.2 Norskar verklýsingar

N200-2018 (áður Hb-018), [2]. Handbók N200 Vegbygging er grundvallarrit í norski vegagerð. Verklýsingar fyrir Vegagerðina eru unnar í sérstökum forritum þar sem gagnagrunnur geymir staðlaðar verklýsingar. Almenn er reynt að styðjast við þær í lengstu lög og setja sem minnst í sérverklýsingar (spesiell beskrivelse) og þurfa þá jafnan að vera góð rök fyrir slíku. Sérverklýsingar birtast þá í beinu framhaldi af almennu verklýsingunni fyrir hvern verklið. Þetta kann að vera endurtekningasamt, en þar sem almenna lýsingin er tekin úr gagngrunni, þá er tryggt að innbyrðis samræmi er í lagi. Verklýsingar fyrir völtun vísa í N200 þar sem kröfum er lýst nánar. Meðfylgjandi er lausleg þýðing á helstu greinum N200 um þjöppun.

Halda skal utan um þjöppunarvinnu, umfang og fjölda yfirferða með staðsetningu í láréttu plani með GNSS eða öðrum aðferðum með breytilegum staðarákvörðunum með viðunandi nákvæmni. Krafa um staðarákvörðun gildir einnig í jarðgöngum og öðrum svæðum þar sem ekki er hægt að ná merki frá gervitunglum. Búnaðurinn verður að geta geymt mæligögn úr þjöppun og staðsetningargögn og vera með viðmót til að afhenda gögnin yfir í miðlægt kerfi.

Staðarákvörðun skal vera með +/- 0,2 m nákvæmni eða betri. Ef völtun er framkvæmd af fleiru en einu tæki skulu skrásetningarkerfi þeirra vera samtengd þannig að hver tækjastjóri hafi góða yfirsýn yfir völtun á bæði sínu tæki og annara.

Þjöppunaráætlun

Við alla þjöppunarvinnu skal gera þjöppunaráætlun. Við minni verkefni er hægt að byggja þjöppunaráætlun á reynslugildum í fyrri verkum með sama búnaði, jarðefnum og lagþykktum. Við stærri verkefni (>5000 m²) skal áætlunin byggja á niðurstöðum úr völtun á prufufyllingu. Ef verkefnið er með mismunandi vegyfirbyggingu eða jarðgrunn, skal gera sérstaka áætlun fyrir hvert einsleitt tilfelli fyrir sig. Þjöppunaráætlun skal innihalda upplýsingar um:

- Jarðgrunn
- Efnisgerðir
- Lagþykkt
- Rakastig og vökvun
- Valtara
- Völtunarmunstur
- Hraða
- Titring, (tíðni og útslag)
- Fjöldi ferða
- Gæðastjórnun og skráningu
- Sérstök svæði þar sem gæta þarf að þjöppun vegna niður grafins búnaðar og lagna eða bygginga

Þjöppunaráætlun skal einnig tilgreina aðferðir og búnað til staðarákvörðunar með viðunandi nákvæmni.

E39 K10 Komprimeringsplan T31									
Stad	E39 K10 Lyshortunnelan T31								
Ungerliggende masser	Fjell	22/120 og 8/16	Fjell	22/120	22/120	22/120	22/120	22/120	22/120
Sted (Design)	VA- Graft	PrePlanum_Graft	PrePlanum_Vegbane	T31_Planum_Groft	T31_Planum_Vegbane	T31_Forsterkningslag_Groft	T31_Forsterkningslag_Vegbane	T31_Forsterkningslag_Forkilling	
Materialtype	22/120 og 8/16	22/120	22/120	22/120	22/120	22/120	22/120	22/120	Frest asfalt
Total lagtykkelse	2000-2500 mm	500 mm	0-1500 mm	50-150 mm	50-150 mm	250 mm	250 mm	30 mm	
Valsestyr / Linjelast	Vibroplate	CS688 - 14 t / 42,9 kg/cm	CS688 - 14 t / 42,9 kg/cm	CS688 - 14 t / 42,9 kg/cm	CS688 - 14 t / 42,9 kg/cm	CS688 - 14 t / 42,9 kg/cm	CS688 - 14 t / 42,9 kg/cm	CS688 - 14 t / 42,9 kg/cm	
Antall lag	Fleire	1	1	1	1	1	1	1	
Vanning	Ved behov (masser skal være fuktig)	Ved behov (masser skal være fuktig)	Ved behov (masser skal være fuktig)	Vannes	Vannes	Vannes	Vannes	Vannes grundig	
Antall overfarter		3-4	2-3	5-6	4-5	5-6	5-6	2 X Vibrasjon 4-5 X Statisk	
CMV - Målværdi				51	103	51	103		
MDP - Målværdi				140	140	140	140	140	
Hastighet (km/h)	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	
Slag per meter	39	39	39	39	39	39	39	39	
Vibrasjon - Amplitude	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav	Lav	
Frøkvæms (Hz)	26	26	26	26	26	26	26	26	
Kontrollmetode	Indikator på vibroplate	Nivellement	Nivellement	Nivellement	Nivellement	Nivellement	Nivellement	Platebelastningstester	
Dokumentasjon	Sjekkliste VA-Graft	Ingen krav	Ingen krav	Geometrisk kontroll Antall overfarter	Geometrisk kontroll Antall overfarter	Antall overfarter Responsmålinger	Antall overfarter Responsmålinger	Geometrisk kontroll Antall overfarter Platebelastningstester	

Við notkun á samfelldum mótstöðumælingum er hægt að minnka eftirlitsprófanir skv. Töflu 602.7 Við samfellda notkun á mótstöðumælingum skráist stífni undirlagsins sem valtarinn keyrir á jafnóðum. Mælingar frá hverri umferð eru þá notaðar til að greina breytingu á stífni milli síðustu tveggja umferða. Þessi breyting skal vera minni en 10% af heildarbreytingunni þegar völtun er hætt. Þegar niðurstöður úr mælitækjum sem eru staðsett á valtaranum eru notuð við gæðastjórnun og skráningu þjöppunar, skal leggja gögnin fram á teikningum eða á

stafrænan hátt með skrárformi sem verkkaupi samþykkir og allar niðurstöður skulu vera með staðarákvörðun, sbr. punkt 601.21.

7.1.3 Staðlar

Earthworks Continuous Compaction Control (CCC) (CEN/TS 17006:2012). CEN staðall um samfelldar þjöppunarmælingar sem þarf að skoða betur.

Grein um minna prófunarumfang við notkun á mótstöðumælingum þarf að skoða nánar og fjalla um.

7.2 Reynslusögur

7.2.1 Berufjörður

Vegagerðin var með aðgang að gögnum frá Héraðsverki í Berufirði, (Viðar hjá Héraðsverki) sem þarf að vinna nánar með.

7.2.2 Dynjandisheiði

JPI skráði samtal við Bjarka Laxdal og Gísla hjá ÍAV. Að þeirra mati má ekki vera of flókið fyrir valtaranninn að nota kerfið. Helst þarf að vera búið að skilgreina lögin inn í kerfið í valtarannum þannig að stjórnandinn þurfi bara að pikka á lagið. Verktakar telja ekkert stórmál að búa til lagskiptinguna og þá séu þau aðlöguð að þeim búnaði sem er í notkun á hverjum stað, sjá umræðu annars staðar um aðlögun lagþykkt að þyngd valtara.

Á Dynjandisheiði þarf að sækja gögnin í valtarann á usb kubb til að koma þeim upp í skýið. Annars vegar er það geta hugbúnaðar og tækja sem stjórna því, en einnig að miklar gagnsendingar yfir farsímakerfið eru víða út á landi ekki í lagi.

Við skoðun á niðurstöðunum hefur komið í ljós að almennt virðast allir punktar úr ólíkum lögum lenda í sama plani. Kerfið er þungt í vöfum. En það gæti verið vegna þess að ekki var síað niður á ákveðið svæði eða stöðvabil.

7.2.3 Kjalarnes.

Hringvegur um Kjalarnes var unnin með VisionLink. Verktakinn þar er nú að skipta um kerfi, þar á eftir að koma í ljós hvernig það mun ganga. Mögulegt er að nota sumarið 2022 að einhverju leyti til tilrauna til dæmis með því að leggja inn fyrirfram ákveðna lagskiptinu í vegmódeli. Þá þyrftu hönnuðir verksins að koma að þeirri tilraun.

7.2.4 Dettifossvegur.

Sjá minnispunkta og klippur í viðauka A.

8 NIÐURSTÖÐUR – Í ÁTT AÐ LEIÐBEININGUM

8.1 umræður

Almenna reynslan hingað til bendir til þess að sá hugbúnaður sem hefur verið prófaður sé frekar þungur og krefst nokkuð mikillar þekkingar til að ná gögnum út eða nýta þau að fullu. Skýrslukerfin hafa líka verið frekar ófullkomin þannig að erfitt er að sannreyna gæði þjöppunar. Eins og fram kom fyrir í skýrslunni bendir norska Vegagerðin á að ekki sé æskilegt að valtarar séu notaðir við úttektarmælingar. Engu að síður eru samfelldar þjöppunarmælingar framtíðin og því verður að aðlaga verklag bæði verktaka og verkkaupa að þessari tækni. Það krefst vinnu af hálfu beggja aðila en það er alveg ljóst að þessi tækni býður upp á miklu meiri gæði í framkvæmd heldur en áður þekktist. Þegar fram líða stundir má mögulega gera ráð fyrir að með þessari tækni vinnist verkin hraðar vegna betri yfirsýnar og minni endurtekninga og mistaka og í því ljósi muni kostnaður við tæknina skila sér í sparnaði annars staðar. Það er hins vegar varhugavert að gera ráð fyrir slíku fyrstu árin meðan að bæði tæknin er að þróast og þeir sem vinna með þessi mál eru að læra ný vinnubrögð.

Allir þeir sem rætt hefur verið við eru sammála um að dagbókarformið eins og því er lýst í verklýsingum er algjörlega úrelt. Þau gögn sem verktakar skila inn eru meira og minna unnin eftir á og jafnvel skálduð. Þó þetta form falli út þá er áfram mjög æskilegt að gerðar séu formlegar þjöppunaráætlanir þar sem þau atriði sem hafa verið á dagbókarlistunum eru skilgreind, því á þeim áætlunum byggir öll vinnan hvort sem snjallkerfi séu síðan notuð við völtunina eða ekki.

Það virðist alltaf þurfa að skilgreina lagþykktir í fyllingar í þeim kerfum sem verið er að nota og valtarastjórar þurfa að haka við rétt lög. Nú er landið mishæðótt og þá þarf að hugsa fyrir því hvernig lögin eru sett inn, hvort það sé talið lárétt frá yfirborði vegar, eða hvort fyllingar fylgi landhæð og eru svo réttar af í restina undir styrktarlag. Það er ljós að með þessi umsýsla gagna og undirbúningur fyrir völtun tekur tíma og því verður að koma fram í verklýsingum að það sé ekki bara ætlast til þess að verktaki sé með ákveðin búnað heldur það sé líka gert ráð fyrir undirbúningi. Mögulegt er að hluti af þessum undirbúningi lendi hjá hönnuðum þar sem lagþykktir í fyllingum eru hreinlega skilgreindar fyrirfram. Til að mjaka þessu atriði áfram væri áhugavert í næsta áfanga að taka fyrir ákveðin vegkafla og skilgreina lagþykktir í vegmódeli fyrir verktakann og sjá hvernig það reynist. Þannig væri heppilegt ef hægt væri að nota skráningu úr valtaranum til úttekta á lagþykktum og þjöppun samhliða. Sem sagt

að geometríska formið sé einnig til úttekta. Raunar virðist VisionLink bjóða upp á slíkt en það hefur ekki verið nýtt í verkum hingað til.

Fyrirfram skilgreindar lagþykktir og fjöldi yfirferða er reyndar einn af þeim punktum sem verktakar nefna að mæti endurskoða. Þeir vilja geta valið hagkvæma stærð tækja og þar með lagþykktir. Þar er gjarnan sjónarmiðið að stærra sé betra og með X þungum valta megi á einhvern hátt vera með meiri lagþykkt. Það er svo sem skiljanleg afstaða en þarf ekki endilega að haldast í hendur með meiri gæðum í viðkomandi verkum, þó að sá möguleiki sé fyrir hendi að verkið verði ódýrara samkvæmt lögmálinu um hagkvæmni stærðarinnar.

Mikið skortir á tæknilega þekkingu hjá valtarastjórum og tæknifólki verktaka, sem og raunar eftirliti verkkaupa líka. Á það bæði við um grunnatriði í þjöppun eins og skilning á hvað CMV gildi þýða eða plötupróf ef út í það er farið. Ofan á það bætist síðan skilningur og færni í notkun á rafrænum umsýslukerfum og meðferð landlíkana og vélstýringa. Miðað við hvað tæknimaður Trimble náði að kalla fram í gögnunum úr Dettifossvegi er alla vega mjög margt hægt að gera, en til þess þarf verulega þekkingu og reynslu í umgengni um þau þjöppunarkerfi sem verktakarnir eru með á hverjum tíma.

Þá er kannski komið að því að í stað þess að setja í verklýsingar fjölda yfirferða við ákveðna lagþykkt og þyngd valtara, þá sé ef til vill skynsamlegra að nýta gögn úr þjöppunarmælum á þann hátt að þegar breyting á milli umferða er minni en 10% þá sé ekki aðeins tilgangslaust, heldur beinlínis neikvætt að halda völtun áfram. Þetta á sérstaklega við á höfuðborgarsvæðinu þar sem meir og minna öll efni í vegagerð eru bögglaberg.

Nýlega hefur verið gerð aukin krafa um stífni E2, sem er nú kominn í 150 MPa úr 120 MPa. Er það líklega að norsku fyrirmynd. Það kann að vera vafasamt að setja slíka kröfu á bögglabergsefni sem er í eðli sínu samsett úr frekar veikum köntuðum og blöðróttum kornum sem brotnar auðveldlega utan af. Í sjálfu sér er það æskilegt að vegir hafi mikla stífni, en hér þarf að gæta jafnvægi við kröfur um fínefnamyndun í styrktar og burðarlagi og þar með lekt þessara mikilvægu laga og mótstöðu gegn yfirmettun og frostleysingavandamálum. Þannig má ekki krafa um aukin gæði á einu sviði koma niður á öðrum sviðum. Í þessu sambandi má ef til hafa í huga að í Noregi er farið aukast notkun á fínefnasnaudum fyllingarefnum í þessum tilgangi til dæmis kornastærð 10-100 eða 20-120 mm þar sem við höfum gjarnan talað um 0-100 eða 0-90 efni, sem er þá oftast með nokkur % af fínefnum <0,063 mm.

Hvað varðar þjöppunarkerfin þá er hver framleiðandi landmælingakerfa og vélaframleiðendur með ólík kerfi. Það kann því að vera takmarkandi gagnvart því hvernig kröfur um afhendingu eða meðferð gagna er sett fram í verklýsingum. Raunar virðist sá kafli sem hér er birtur úr norsku verklýsingunni taka nokkuð vel á þessu máli og nálgast það að setja fram kröfur sem eru ekki ofsérniðnar að einum framleiðanda. Í bandaríkjunum hefur verið reynt að samræma framsetningu á gögnum úr þjöppunarkerfum og eru vonir bundnar við að hugbúnaðarkerfi sem eru óháð stórum framleiðendum landmælingatækja eða valtara nái útbreiðslu. Of snemmt er að segja til um hvernig þróunin á því sviði verður. Viðbúið er að verkkaupar eins og Vegagerðin verði að gera ráð fyrir auknum innri kostnaði við kaup á hugbúnaði og þjálfun á mannskap til að vinna úr gögnum og greina, hvort sem heldur hjá sínum eigin starfsmönnum eða ráðgjöfum sem sinna eftirliti með framkvæmdum. Almennt eru tímar sem eru áætlaðir í starfsemi eftirlits með vegagerð of fáir í áætlunum Vegagerðarinnar. Sennilega er tímanotkun eftirlits í íslenskum vegagerðarverkefnum um 30-50% af því sem væri í sambærilegum

norskum verkefnum. Þannig er lítið rými fyrir eftirlit til að setja sig raunverulega inn í meðhöndlun á niðurstöðum. Sama á við á verktakahliðinni þar sem umsjón með völtunarkerfum er gjarna hliðarverkefni mælingarmanns eða framleiðslustjóra. Það þýðir að þegar mikið gengur á þá eru þetta verkefni sem renna gjarnan út af borðinu og er ekki sinnt nægjanlega vel. Því fer fjarri að vegagerð á Íslandi sé á einhvern hátt einfaldari sem réttæti minni tímanotkun í þessi verkefni.

Bent hefur verið á að við verkþáttarýni þurfi eftirlit verkkaupa að hjálpa verktökum á meðan að þessi yfirfærsla á sér stað. Mögulega þarf eftirlit verkkaupa og hönnuðir að koma að útfærslu þjöppunaráætlana og nánari skilgreiningum á lagþykktum með meir útfærðum vegmódelum.

Vökvun samhliða þjöppun. Þjöppun er mjög háð rakastigi þess efnis sem unnið er við á hverjum tíma. Lengi hefur staðið í verklýsingum að miða skuli við að ná upp rúmþyngd eða þjöppun sem er 95% af standard proctor eða 90% af Modified proctor. Proctorpróf er mæling á rúmþyngd og rakastigi. Samband þessara mælikvarða er vel þekkt, sem og að hæsta rúmþyngd næst við ákveðið „hagstæðasta“ rakastig svokallað „optimum“ gildi. Það er engu að síður sjaldgæft að verktakar á Íslandi séu vel útbúnir með búnað til vökvunar á verkstað, þrátt fyrir þetta vel þekkta samband og nánast gegnumgangandi kröfu í verklýsingum á Íslandi.

8.2 Hugsanleg verklagslýsing - punktar

Setja upp fyllingar og þjöppunaráætlun. Til dæmis skipta í 100-200 m svæði, verktaki þarf að setja inn yfirborð á fyllingarhæðum til samræmis við þjöppunarbúnað og útlögn. Ef skýrslur séu keyrðar út á pdf eða xls þá séu 20 m snið í skýrslunni. Úttekt á gögnum síðar úr eftirlitskerfi verktaka byggist þá á sömu uppskiptingu. Mikilvægt er að læra að nota síur í kerfunum til að brjóta verkin niður í kafla til að halda yfirsýn í skýrslunum. Augljóst er að mælingar þurfa þá að gilda fyrir allt vegsniðið.

Kröfur um búnað og hugbúnað, GNSS staðsetning umfram „handtækja“ nákvæmni. Verktakar verða að útvega eftirliti aðgengi að þeim hugbúnaði sem þeir nota. Helst þurfa kerfin að skila gögnum á sniði sem er lesanlegt í fleiri forritum. Best væri ef hægt væri að koma þessum málum þannig fyrir að hægt sé að afhenda gögn á skráarsniði sem hægt er að nota í „almennum“ hugbúnaði eins og VETA sem er óháður stóru framleiðendunum. Norska verklýsingin virðist ná að koma þessari almennu hugsun ágætlega til skila. Handvirk yfirfærsla á gögnum er í grunninn óásættanleg, það verður að vera bein afhending á gögnum í skýjalausn.

Eftirlit verkkaupa eða starfsmenn verkkaupa verða að fá tíma greidda til að setja sig inn í viðkomandi kerfi. Kerfin eru ólík og það þarf töluverðan tíma til að læra á þau til að þau nýtist. Samanber dæmi úr Dettifossvegi þar sem tæknimaður Trimble náði að birta og skoða mikið af gögnum sem aðrir aðilar í verkinu hefðu ekki náð út.

Mjög varasamt er að verið sé að valta og lagfæra yfirborð á sama tíma. Þarf að vera texti um að ekki megi breyta yfirborði. Ef verið er að vinna í tveimur samhliða akbrautum, til dæmis þar sem hjáleid er á annarri akbrautinni þarf að gæta sérstaklega að skörun akbrauta.

Ekki rugla saman almennri verklýsingu og sérverklýsingu, núverandi verklýsingar eru gjarnan ruglingslegar hvað þetta varðar. Verktakar verða að gefa upp hvaða aðferð þeir nota á hverjum stað, samanber þjöppunaráætlun.

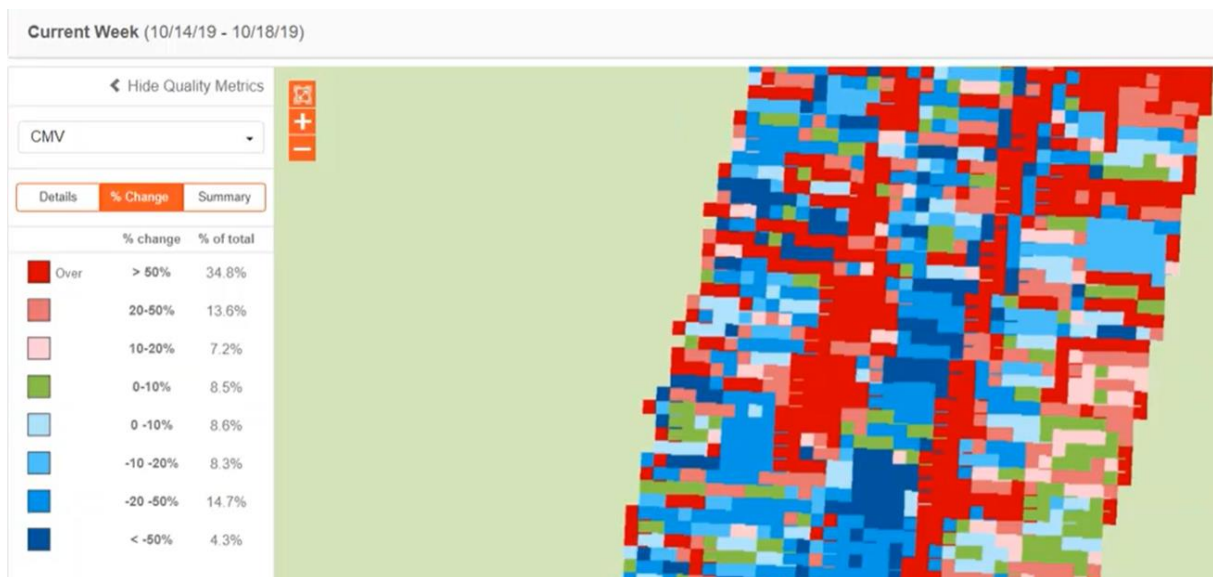
9 HEIMILDARSKRÁ

- [1] Davíð Sigurðsson, „Völtun í vegagerð, Leiðbeiningar og þróun verklags,“ Háskólinn í Reykjavík, 2014.
- [2] Statens vegvesen, Vegbygging Håndbok N200, Vegdirektoratet, 2018 (Høringsutgave 2021).
- [3] Statens vegvesen, „Planlegging og utførelse av komprimeringsarbeid. Rapport Nr. 284,“ Statens vegvesen, 2014.

VIÐAUKI A PUNKTAR ÚR KYNNINGU TRIMBLE Á GREININGU Á VISIONLINK GÖGNUM ÚR DETTIFOSSVEGI

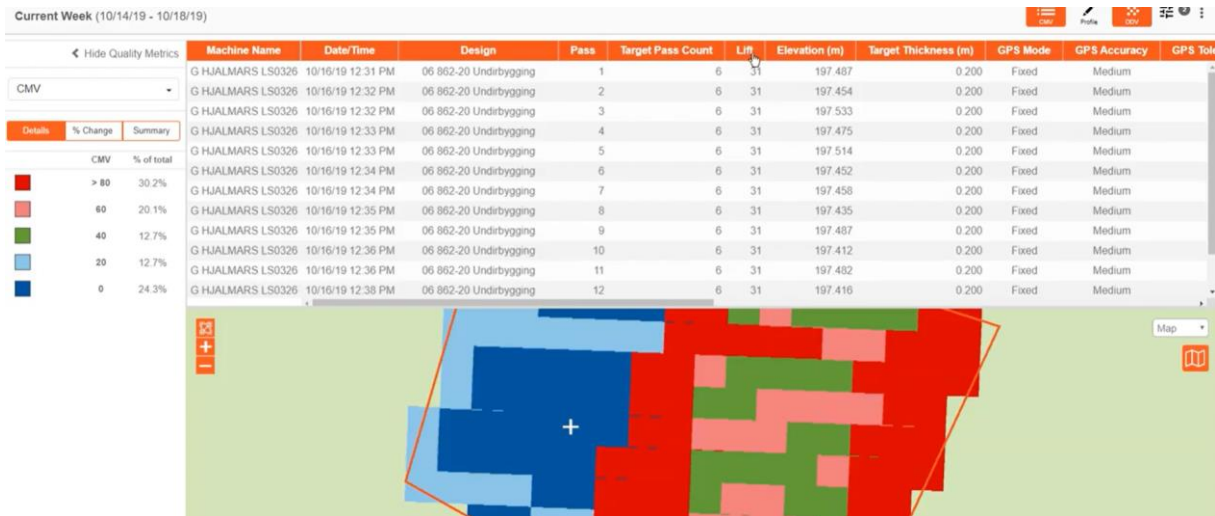
Dettifossvegur, verktaki: G Hjálmarsson Akureyri – myndband frá Ísmar

- Project boundary notað til að filtera.
- CMV 30x30 cmv sellur. Hægt að lesa úr sellu og hægt að stilla liti. (hægt að stilla þröskuldsgildi).
- Talning umferða, hiti, hraði, CMV samantekt
- Cut/fill, CMV Percentage change, CMV details, Elevation
- Hver notandi getur sett upp sínar eigin stillingar, sem hafa ekki áhrif á aðra notendur. Gæti verið gagnlegt fyrir eftirlit.
- „Density test on site“ – hægt að nota það til að kvarða CMV mælingar sjá „CMV details“.
- Bera saman umferð við síðustu umferð. Percentage change. Hægt að sjá hvort það sé einhver árangur af þjöppun, ef td. +/- 10% þá er allt í lagi og í raun hægt að sjá hvort það sé mögulega rýrnun á gildum milli umferða (grænn í lagi, rauður hægt að þjappa meira, blár rýrnun)

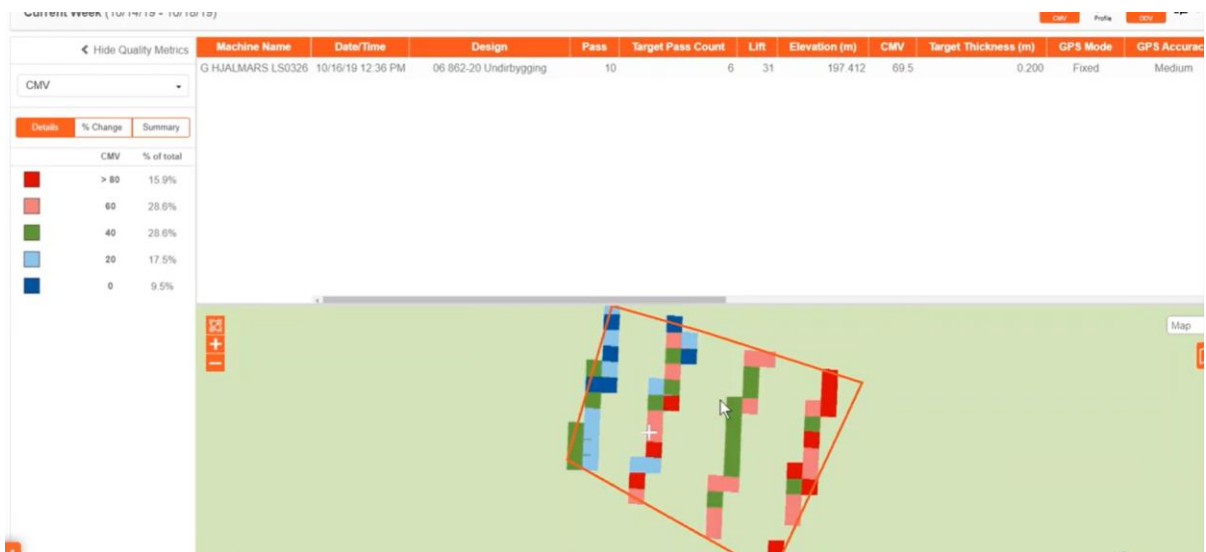


MYND 5 Dæmi úr VisionLink, CMV gildi í vegi.

Hægt að velja svæði eða sía niður á ákveðin svæði, þar sem afmörkuð mál eru skoðuð. Þar sem umferðir eru orðnar of margar og niðurbrot er í gangi, þá gæti verið komið inn nýtt lag? Eða breytingar í aðstæðum eins og kannski rigning, hann sér ekki alveg hvað þetta er, en það eru afgerandi breytingar í CMV gildum.

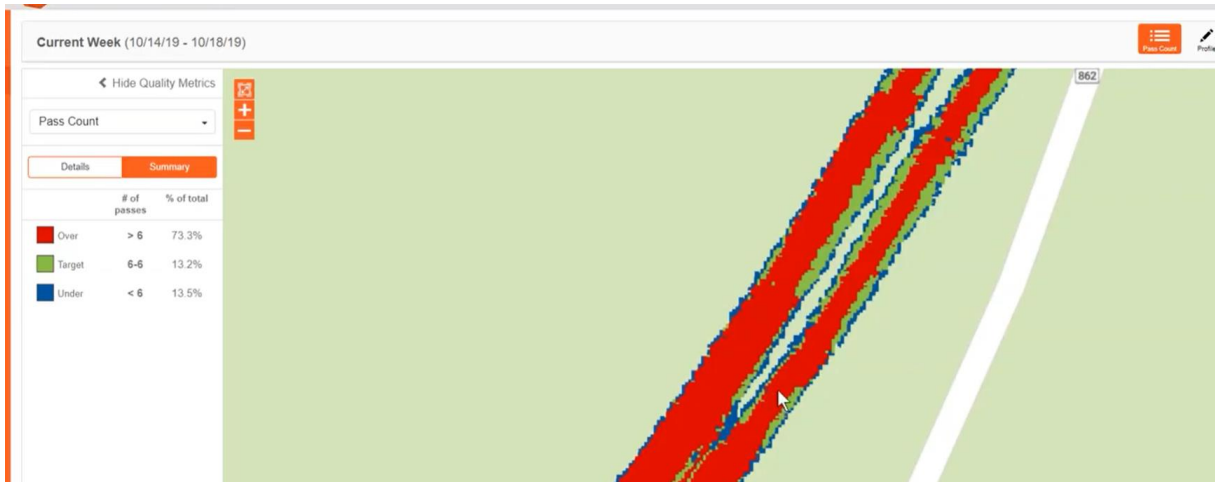


MYND 6 Dæmi úr VisionLink. Sjá að lagið er merkt 06 862-20 Undirbygging og lift nr. 31. Þetta er hægt að laga á skjánum. Það er tengt við hönnunargildi, það er líka hægt að skoða elevation eða hæð til greina hvaða lag er verið að vinna með, sem kæmi mögulega upp um það hvað er að gerast. Það er hægt að sía þetta meira niður í Detail glugganum.



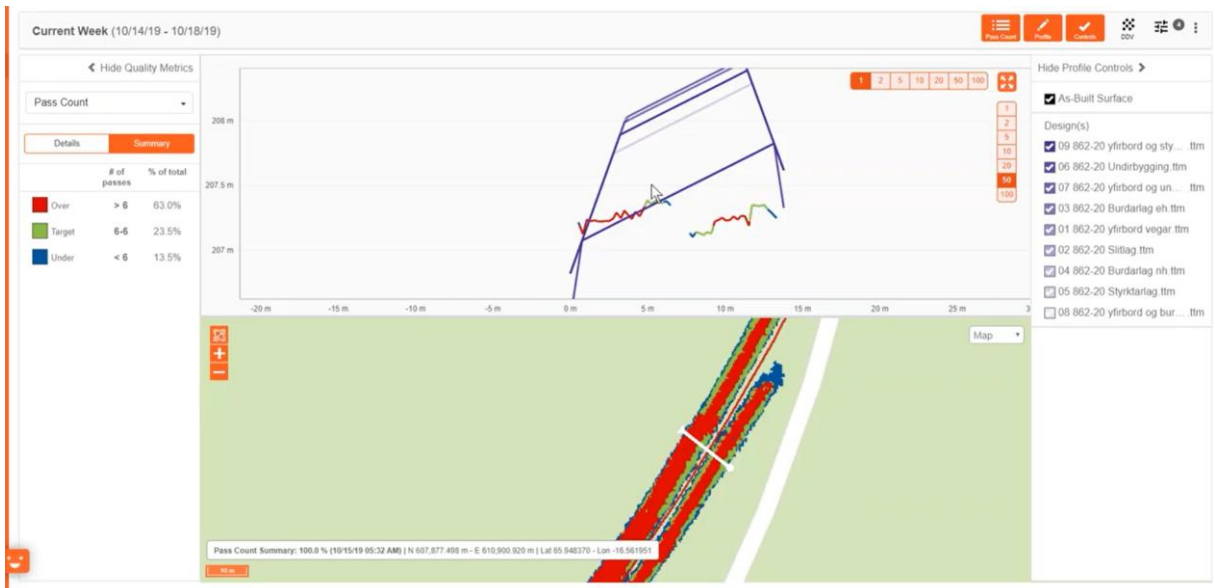
MYND 7 Dæmi úr VisionLink. Hægt að velja svæði og deila þeim svæðum með öðrum notendum, til dæmis til að benda á hvaða svæði eitthvað er að gerast á. Til dæmis svæði með 10 umferðum eða meira, eins og sést á myndinni. Það eru þá svæðin þar sem skörun hefur verið ákveðið mikil.

Sjá dæmi sem gæti verið sitt hvor hæðin á sitt hvorri hliðinni á veginum, þá kemur þetta gat á milli.



MYND 8 Dæmi úr VisionLink. Sjá dæmi sem gæti verið sitt hvor hæðin á sitt hvorri hliðinni á veginum, þá kemur þetta gat á milli.

Þegar gagnasafnið er síað er notuð „alignment filter“ fyrir veglínu, en gott er að setja upp uppáhalds síur sem aðrir notendur geta notað.



MYND 9 Dæmi úr VisionLink. Hér er hægt að sjá að um sitt hvora akbrautina er að ræða og gatið í fláanum er á milli hæða í fyllingunni. Profile tool var notað til að fá sniðið til samburðar. Litirnir sýna síðan CMV gildin í línunni sem var valin þvert á veglínuna.



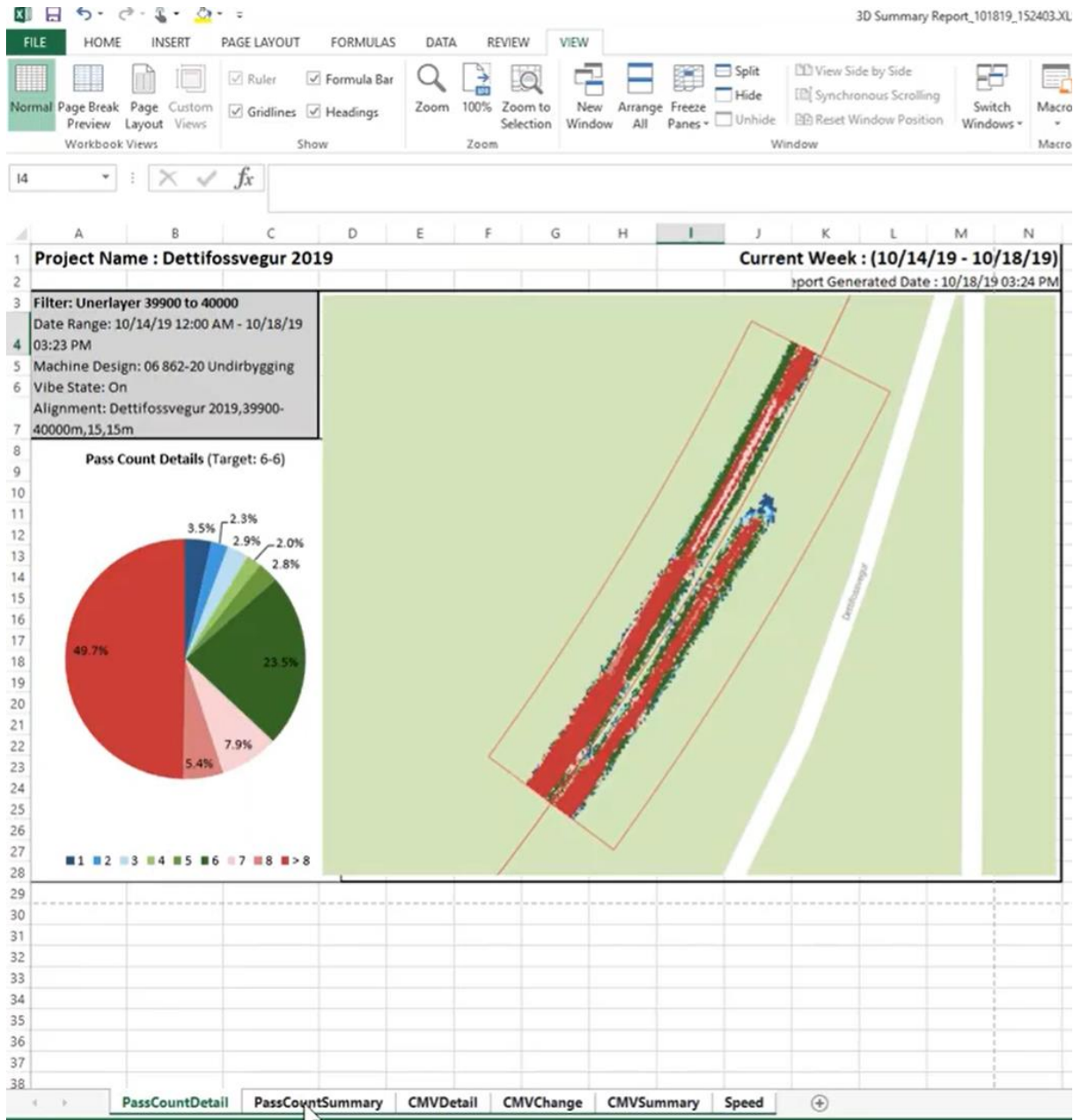
MYND 10 Dæmi úr VisionLink. Hér eru settir mismunandi litir á hæð yfirborðs. Það á að vera hægt að bæta inn í þetta viðbót landmælingum, til dæmis úr gatinu á milli akbrauta.



MYND 11 Dæmi úr VisionLink. Þegar síað er niður á hæð vegyfirborðs er hægt að fá fram magntöku, hér er slegið á hversu mikið á eftir að fylla til að ná upp að styrktarlagi.

Hraði tíðni og útslag er nánast fast, þannig að með meiri hraða er verið að undirþjappa, en með of lágum hraða er verið að yfirþjappa. Þannig að hraðinn skiptir máli.

Hægt að nota filter til að setja upp skýrslu, t.d. summary report þá eru valin ákveðin gildi til að sýna. Velja ákveðin stöðvargildi eða tímasetningar.



MYND 12 Dæmi úr VisionLink. Skýrslusniðmát. Hægt að nota síur til að setja upp skýrslu, hér er kallað fram „summary report“ þá eru valin ákveðin gildi til að sýna. Hægt er að velja ákveðin stöðvargildi eða tímasetningar.

- Til að skoða gögn aftur í tímann verður að nota síur (filter).
- Meðhöndlun á þessum forritum krefst bæði mikillar þekkingar hjá eftirliti og verktaka til að það gagnist eitthvað að skoða gögnin sem koma inn. Operator þarf síðan að velja rétta hönnun sem er skilgreint lag eða yfirborð.
- Betra að notast við hönnuð yfirborð, frekar en lag (lift), þar sem ekki þarf að muna, hvaða lagi notandi var á.