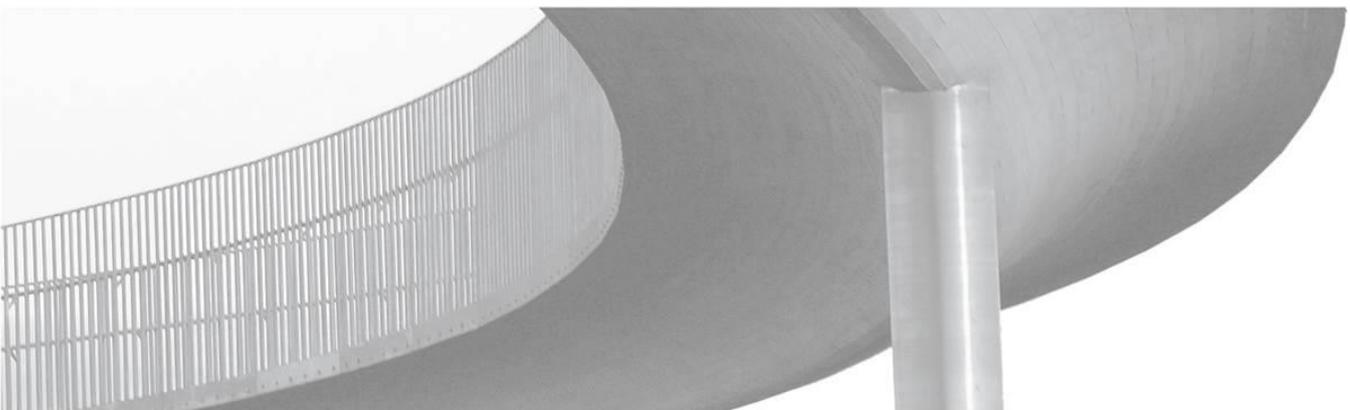




BETRI KOSTNAÐARÁÆTLANIR Í VEGAGERÐ

Áfangaskýrsla 2

31.03.2023



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2970-404-SKY-002-V01

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

2970-404-SKY-002 / 50

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Sigurþór Guðmundsson

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Baldvin Einarsson

LYKILORÐ

Kostnaðaráætlanir

STAÐA SKÝRSLU

- Drög
 Drög til yfirlstrar
 Lokið

DREIFING

- Opin
 Dreifing með leyfi verkkaupa
 Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Betri kostnaðaráætlanir í vegagerð – Áfangaskýrsla 2

VERKHEITI

Betri kostnaðaráætlanir í vegagerð

VERKKAUPI

Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar

HÖFUNDUR

Guðrún María Guðjónsdóttir og Baldvin Einarsson

ÚTDRÁTTUR

Í skýrslunni er fjallað um kostnaðaráætlanir í vegagerðarverkum. Fjallað er um vanda við gerð kostnaðaráætlana og kynnt aðferðafræði frá Bandaríkjunum (AACE) og frá Noregi (Anslag).

Sýnd eru dæmi um úrvinnslu gagna úr Framkvæmdakerfi Vegagerðarinnar (FK-kerfinu) sem nota má til að gera óvissugreiningu á áætlunum og þannig meta líklega dreifingu í niðurstöðum þeirra.

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Guðrún María Guðjónsdóttir Baldvin Einarsson 1. útgáfa	31.03.23	Baldvin Einarsson	31.03.23	Baldvin Einarsson	1.4..23

SAMANTEKT

Í þessari skýrslu er fyrst fjallað um ýmis vandamál við gerð kostnaðaráætlana. Rannsóknir hafa sýnt að við gerð þeirra ríkir meiri bjartsýni um kostnað en innistæða er fyrir. Það á ekki síst við um verkefni á fyrri stigum áætlanagerðar.

Kynnt er aðferðafræði við gerð kostnaðaráætlana frá tveimur aðilum; í fyrsta lagi frá AACE í Bandaríkjunum og í öðru lagi frá vegagerðinni í Noregi. Í báðum þessum aðferðum er lögð mikil áhersla á mat á óvissu og ófyrirséðum atburðum við framkvæmdir við samgönguverkefni. Einnig er lögð áhersla á að forsendur og kostnaðarmat sé vandlega skráð í kostnaðarskýrslu. Og loks er talið mikilvægt að fá samanburð á verkum við sambærileg verkefni sem hafa verið kláruð – ytra viðmið.

Í báðum aðferðum er gerð óvissugreining með tölfræðilegum aðferðum til að meta óvissu í magntöku og einingarverðum við áætlanagerðina. Byggja aðferðirnar á að meta líklegustu gildi og efri og neðri mörk bæði á magni og verði. Til þess að slíkar aðferðir séu raunhæfar er nauðsynlegt að kanna hvernig þessar grunneiningar áætlanagerðar dreifast á Íslandi.

Fengnar voru niðurstöður úr einingarverðum og magnuppgjöri fjölda verþátta úr Framkvæmdakerfi Vegagerðarinnar undanfarin ár. Í kerfinu eru geymdar allar niðurstöður tilboða í verk í útboðum Vegagerðarinnar. Unnið hefur verið úr niðurstöðunum og eru ýmsar niðurstöður úr þeirri greiningu birtar í þessari skýrslu. Í fyrstu áfangaskýrslu var sjónum eingöngu beint að breytileika í einingarverðum. Í þessari áfangaskýrslu hefur breytileiki í magni einnig verið tekinn fyrir auk þess sem sett er fram tillögur að dreifingu á einingarverði og magni fyrir hina ýmsu verkþætti.

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

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	5
1 INNGANGUR	11
1.1 Um kostnaðaráætlanir	11
1.2 Skilgreining á vanda	12
1.3 Rannsóknarverkefnið	14
2 AÐFERÐAFRÆÐI AACE	15
2.1 Inngangur	15
2.2 Nákvæmnistig	15
2.3 Kostnaðarskýrsla	16
2.4 Ófyrirséður kostnaður áætlaður með mati á dreifingu	17
2.4.1 Almennt	17
2.4.2 Mat á dreifingu	17
2.4.3 Þríhyrningsdreifing (þriggja punkta mat)	18
2.4.4 Mat á ófyrirséðum kostnaði og líkur á umfram kostnaði	19
2.4.5 Hvenær á að beita aðferðafræðinni	20
3 AÐFERÐAFRÆÐI ANSLAG	22
3.1 Inngangur	22
3.2 Uppbygging á kostnaðaráætlun	23
3.3 Gerð kostnaðaráætlana	24
3.4 Hópvinna við kostnaðargreiningu	25
3.4.1 Anslagsferlið	25
3.4.2 Samsetning matshóps	25
3.4.3 Hópvinna	26
3.5 Tölfræðileg úrvinnsla óvissuþátta	26
4 GÖGN ÚR FRAMKVÆMDAKERFI VEGAGERÐARINNAR	29
4.1 Framkvæmdakerfi Vegagerðarinnar	29
4.2 Úrvinnsla gagna úr FK-kerfinu	30
4.2.1 Almennt	30
4.2.2 Meðhöndlun gagna	30
4.2.3 Fervikagreining	31
4.3 Niðurstöður greiningar	33
4.3.1 Bergskeringar	33
4.3.2 Fyllingar	35
4.3.3 Styrktarlag	37
4.3.4 Burðarlag	38
4.3.5 Malbik	40
4.3.6 Klæðing	42
4.3.7 Mót	43
4.3.8 Járnalögn	45
4.3.9 Steypa	46
4.4 Samantekt	47

MYNDASKRÁ

MYND 1	Tíðnigröf fyrir kostnað og ábata í yfir 2000 verkefnum. Eðlilegt væri að báðar dreifingarnar væru samhverfar um 1,0. _____	11
MYND 2	Þríhyrningsdreifing . _____	18
MYND 3	Tvöföld þríhyrningsdreifing. _____	19
MYND 4	Dæmi um „tornado diagram“ í vegagerðarverki þar sem verkþáttum er raðað upp eftir mögulegum áhrifum. _____	20
MYND 5	Dæmigerð þróun kostnaðaráætlana með framvindu undirbúnings verklegra framkvæmda _____	21
MYND 6	Samband milli áætlanagerðar stjórnvalda og hönnunarstiga framkvæmdar í Noregi. _____	23
MYND 7	Yfirlíðir í kostnaðaráætlun og uppbygging mismunandi liða eftir Anslag. _____	24
MYND 8	Gammadreifing við vinstri og summudreifing til hægri. _____	27
MYND 9	Sambandið milli þriggja grunnstærða dreifingarinnar. Til hægri er niðurstaða úr Anslagi fyrir vegskála í Noregi. _____	27
MYND 10	Dæmigerðir þríhyrningar fyrir magn og einingaverð fyrir verkþáttinn gröft. _____	30
MYND 11	Dreifing á kvörðuðu einingarverði fyrir bergskeringar (22.1, 32.1, 32.2). _____	34
MYND 12	Samband á meðalverði og magns fyrir bergskeringar. _____	34
MYND 13	Dreifing á magni fyrir bergskeringar. _____	35
MYND 14	Dreifing á kvörðuðu einingarverði fyrir fyllingar úr skeringum. _____	35
MYND 15	Samband einingarverðs og akstursfjarlægðar í námu. _____	36
MYND 16	Dreifing á kvörðuðu einingarverði fyrir fyllingar úr námum – Dreginn er frá áætlaður kostnaður vegna flutninga. _____	36
MYND 17	Dreifing á magni fyrir bergskeringar. _____	37
MYND 18	Dreifing einingarverða fyrir styrktarlag - efnisvinnsla _____	37
MYND 19	Dreifing einingarverða fyrir styrktarlag – flutningur og útlögn. _____	38
MYND 20	Dreifing á magni fyrir styrktarlag. _____	38
MYND 21	Dreifing verðs fyrir efnisvinnslu burðarlags. _____	39
MYND 22	Dreifing verðs fyrir efnisvinnslu burðarlags. _____	39
MYND 23	Dreifing verðs í flutning og útlögn burðarlags. Ekki er tekið tillit til akstursvegalengdar. _____	40
MYND 24	Dreifing á magni fyrir burðarlag. _____	40
MYND 25	Dreifing á verði slitlagsmalbiks. _____	41
MYND 26	Verð í flutning á malbiki eftir flutningsvegalegd. Fastur kostnaður virðist vera um 1550 kr./tonn en breytilegi kostnaðurinn um 37 kr./tonn/km. _____	41
MYND 27	Dreifing á magni fyrir malbik. _____	42
MYND 28	Dreifing á verði í nýlögn klæðingar. _____	42
MYND 29	Dreifing á magni fyrir klæðingu. _____	43
MYND 30	Dreifing á einingarverði fyrir mót. _____	43
MYND 31	Dreifing á einingarverði fyrir mót stöpla. _____	44
MYND 32	Dreifing á einingarverði fyrir mót yfirbygginga. _____	44
MYND 33	Dreifing á magni fyrir mót. _____	45
MYND 34	Dreifing á einingarverði fyrir járnalögn í yfirbyggingu, sökkla og stöpla. _____	45
MYND 35	Dreifing á magni fyrir járnalögn. _____	46
MYND 36	Dreifing á einingarverði fyrir steypu í stöpla og yfirbyggingu. _____	46

MYND 37	Dreifing á einingarverði fyrir steypu í stoðveggi. _____	47
MYND 38	Dreifing á magni fyrir steypu. _____	47

TÖFLUSKRÁ

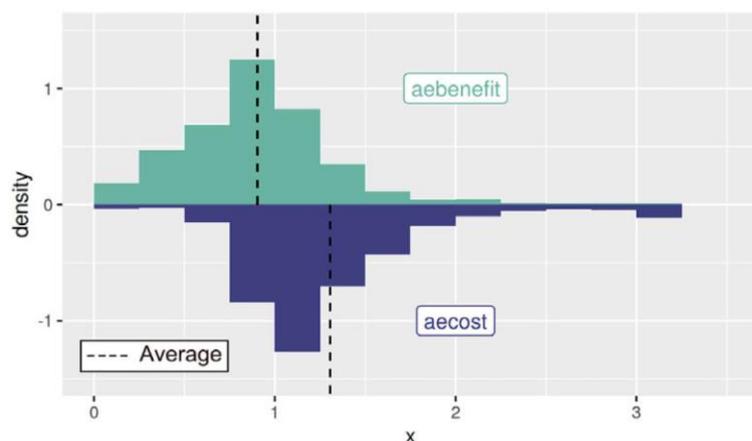
TAFLA 1	Flokkun AACE á kostnaðaráætlunum fyrir samgönguverkefni. _____	16
TAFLA 2	Krítísk frávík á heildarkostnaði samkvæmt AACE _____	18
TAFLA 3	Niðurstöður á greiningu á marktækni mismunar á einingarverðum fyrir mót. _____	32
TAFLA 4	Niðurstöður fervikagreiningar á meðaltölum valinna verkþátta. _____	33

1 INNGANGUR

1.1 Um kostnaðaráætlanir

Umræður um kostnað við framkvæmdir verða oft fyrirferðarmiklar í þjóðfélaginu. Einatt er það tengt framkvæmdum sem farið hafa fram úr áætluðum kostnaði. Ber þá mest á umfjöllun í fjölmiðlum sem oft og tíðum er ekki byggð á réttum gögnum málsins.

Það er hins vegar þekkt, ekki bara hér á landi heldur víða um heim, að kostnaður við framkvæmdir hefur tilhneigingu til að fara fram úr kostnaðaráætlunum. Rannsóknir erlendis á öllum tegundum framkvæmda ekki síst í vega, brúar- og jarðgangagerð¹ hafa sýnt að kostnaður í yfir 2000 verkefnum (þar af yfir 1000 í samgöngumannvirkjum) sem voru skoðuð fór að meðaltali um 40% fram úr áætlun.



MYND 1 Tíðnigröf fyrir kostnað og ábata í yfir 2000 verkefnum. Eðlilegt væri að báðar dreifingarnar væru samhverfar um 1,0.

¹ Flyvbjerg, B og Dirk W. Bester: The Cost- Benefit Fallacy: Way Cost-Benefit Analysis Is Broken and How to Fix It. J. Benefit Cost Anal. 2021; 12(3): 395-419.

Við skoðun á 258 verkefnum í samgöngumálum frá ýmsum tímum² kom í ljós að 86% þeirra fóru fram úr áætlun. Þar kom einnig fram að kostnaðarmöt höfðu ekki batnað undafarin 70 ár og að enginn munur var á verkefnum opinberra aðila og einkaaðila. Þá var það skoðun höfunda rannsóknarinnar að munurinn væri meiri en svo að hann mætti skýra með tilfallandi vanmati eða bjartsýni og héldu því fram að algengt væri að gerðar væru svokallaðar „pólítískar kostnaðaráætlanir“ þar sem kostnaður væri viljandi vanmetinn til að tryggja verkefnum brautargengi.³

Hér á landi hafa einnig verið gerðar kannanir á kostnaðaráætlunum og endanlegum kostnaði verka. Þórður Víkingur Friðgeirsson hefur fjallað nokkuð um framúrkeyrslu í verkum á vegum Vegagerðarinnar.⁴ Þar kom fram að í þeim verkum sem skoðuð voru var meðal framúrkeyrslan um 6%.

Vegagerðin⁵ tók saman yfirlit yfir kostnaðaráætlanir í 23 stórum verkum á áratugnum 2008-2018, sem kostuðu samtals um 80 milljarða kr., og komst að því að þau verk höfðu að meðaltali farið 7% fram úr kostnaðaráætlunum. Frávikin í einstökum verkum reyndust allt frá 70% og upp í 145% og voru 7 verk undir kostnaðaráætlun en 16 verk yfir.

Vandinn við túlkun á niðurstöðum rannsókna á gæðum kostnaðaráætlana er að áætlanir eru gerðar á ýmsum stigum undirbúnings framkvæmda. Á undirbúningsstiginu taka verkefnin oft breytingum, bæði að gerð og umfangi. Væntanlega er mikill munur á hvernig fyrstu áætlanir standast miðað við áætlanir sem gerðar eru þegar verkið er að fullu skilgreint við útboð. Þá er einnig munur á áætlunum, hvort þeim er ætlað að gera upp á milli mismunandi valkosta eða hvort þær mynda grunninn að ákvarðanatöku um fjármögnun.

1.2 Skilgreining á vanda

Hefðbundnar kostnaðaráætlanir fyrir framkvæmdir í vega- og brúargerð eru gjarnan gerðar með því að áætla magn og einingaverð fyrir hvern verkþátt og finna þannig heildarkostnað fyrir hvern verkþátt í verkinu í samræmi við skilgreiningar í verkþáttaskrá Vegagerðarinnar. Oftast eru þessar áætlanir unnar af hönnuðum. Magnreikningar eru gerðir á misjafnlega skilgreindum mannvirkjum en einingarverð eru yfirleitt tekin úr Framkvæmdakerfi Vegagerðarinnar (FK-kerfinu) eða að stuðst er við niðurstöður nýlegra tilboða. Með því að leggja saman áætlaðan kostnað við sérhvern verkþátt er fengið mat á heildarverkkostnaði verksins eða svokölluðum verktakakostnaði.

Til að taka tillit til ýmiss ófyrirséðs kostnaðar og óvissu er lagt ofan á áætlaðan verktakakostnað ákveðið hlutfallsálag háð því á hvaða stigi áætlunin er gerð. Til viðmiðunar er þá gjarna lagt 20-40% ofan á áætlanir á frumdragastigi og niður í einungis 10% á útboðsstigi.

Kosturinn við þessa aðferð er að hún er einföld.

Gallarnir eru hins vegar nokkrir. Þeir veigamestu hafa tilhneigingu til að vanmeta kostnað frekar en að ofmeta. Helstu ástæður þess að kostnaðaráætlanir standast illa má flokka gróft í þrennt:

² Flyvbjerg, B., Mette Skamris Holm, og Søren Buhl.: Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie? *Journal of the American Planning Association*, vol. 68, no. 3, Summer 2002, pp. 279-295.

³ Kanhehan, D.: *Thinking fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux, New York, 2011.

⁴ Þórður Víkingur Friðgeirsson: Reference class forecasting in Icelandic transport infrastructure projects. *Transport Problems*, 2016 Volume 11 Issue 2.

⁵ Kostnaðaráætlanir Vegagerðarinnar standast að jafnaði vel. Frétt á fréttavef Vegagerðarinnar 13.11.2018.

- Hönnuðir eru bjartsýnir á eigin hönnun og hafa oft ekki reynslu af framkvæmdum
- Dreifing á einingarkostnaði og magni er oft meiri en hönnuðir gera sér grein fyrir
- Skortur er á ytra viðmiði við ákvörðun heildarkostnaðar

Hönnuðir samgöngumannvirkja, hvort sem er í vegagerð, brúargerð eða jarðgangagerð, eru almennt ánægðir með sína hönnun. Verkefnin eru flókin og krefjandi og þeir hafa þurft að taka margar ákvarðanir til að uppfylla kröfur staðla, reglugerða og hönnunarreglna og um leið halda kostnaði í lágmarki. Þeir líta því björtum augum á verkefnið. Þeir hafa komist að bestu og hagkvæmstu lausn og hún virkar oft einföld fyrir þeim og verkefnið þar með auðunnið.

En oftast er ekki lítur verkefnið allt öðru vísi út frá sjónarhóli þess sem ætlar að standa fyrir framkvæmdunum. Samgönguverkefni eru yfirleitt dreifð yfir stórt svæði með takmörkunum í aðgengi. Það leiðir gjarnan til þess að framkvæmdaröð er bundin og ekki er hægt að vinna verkið með hagkvæmasta hætti. Það á stundum eftir að ganga frá samningum við landeigendur eða hagsmunaaðila og þess vegna ekki hægt að byrja á réttum enda. Einnig byggir hönnunin á jarðfræði- og jarðtæknirannsóknnum og aðstæður geta reynst verulega breyttar frá því sem þar kom fram. Allt getur þetta svo leitt til tafa í verkinu og að verktíminn færir yfir á tímabil með verra veðri. Allir þessir þætti geta auðveldlega leitt til þess að forsendur kostnaðaráætlunar bregðist. Viðbótarvandinn er að flestir þessir þættir leiða til aukins kostnaðar frekar en til sparnaðar.

Þá er rétt að minnast á áætlanir þar sem vísitandi er gerð lág áætlun með því að sleppa einhverjum mikilvægum þáttum eða að vanmeta þá. Sama tilhneiging er einnig til að ofmeta ábata verkefna. Tilgangurinn er að tryggja brautargengi verkefnisins við ákvarðanatöku þeirra sem fara með fjárveitingarvaldið. Þessa verður einnig vart þegar reynt er að breiða yfir fyrri vanáætlun í verkefni sem hefur vaxið í þeirri von að mistökin hverfi í framkvæmd.⁶ Ekki er frekar fjallað um þessi atriði í þessu verkefni þar sem þau byggja ekki á heiðarlegum vinnubrögðum.

Hönnuðir vanmeta gjarnan mögulega dreifingu í einingarverðum og magni í verkefnum. Yfirleitt er stuðst við verð úr verðbanka eða að verð er fengið úr nýlegu verki. Er þá gjarnan stuðst við verð lægstbjóðanda án þess að taka tillit til þess að verð var væntanlega mjög breytilegt eftir verktökum. Enn síður er stuðst við verð úr nokkrum verkum til samanburðar þar sem aðstæður voru jafnvel aðrar. Verkbættir eru mjög misviðkvæmir fyrir magnbreytingum. Þetta á ekki síst við í vegagerð þar sem aðstæður geta verið breytilegar og erfitt er að gera fullnægjandi rannsóknir á landi og jarðlögum sem vegur er lagður um. Þetta á ekki síður við um efnisnámur fyrir efni til vegagerðar. Breytileikinn er yfirleitt meiri en hönnuðir gera sér grein fyrir.

Ein hættu við gerð kostnaðaráætlana sem byggja á að brjóta verk niður í litlar einingar er að yfirsýn tapast. Það er einmitt skortur á ytra viðmiði sem vantar. Þetta er sérstaklega bagalegt á fyrri stigum áætlana þegar litlar upplýsingar um verkið liggja fyrir. Þá er nauðsynlegt að hafa víðari skírskotun til fleiri verka og helst sambærilegra verka og skoða stóru myndina. Hvað kostar km af vegi? Hvað kostar m eða m² af brú? Hvað kosta mislæg vegamót með öllu tilheyrandi? Þetta eru allt spurningar sem ætti að reyna að svara eftir bestu getu og fáanlegu heimildum. Þarna standa ráðgjafar Vegagerðarinnar oft illa að vígi þar sem þeir hafa ekki endilega aðgang að uppgjörum í vegagerðarverkefnum. Því er

⁶ Flyvbjerg, B., Mette Skamris Holm, og Søren Buhl.; Underestimating Costs in Public Works Projects: Error or Lie? Journal of the American Planning Association, vol. 68, no. 3, Summer 2002, pp. 279-295.

nauðsynlegt að verkefnisstjórar yfir framkvæmdum Vegagerðarinnar taki þátt í gerð kostnaðaráætlana. Einnig eru vegagerðarverkefni til viðmiðunar af skornum skammti af eðlilegum ástæðum. Því getur verið kostur að sækja viðmið til nágrannalandanna, svo sem Noregs, þar sem aðstæður eru um margt svipaðar og hér á landi, og Norðmenn standa einnig framarlega í gerð og framsetningu kostnaðaráætlana.

1.3 Rannsóknarverkefnið

Rannsóknarverkefninu má skipta í þrjá meginþætti:

- Fjalla um aðferðafræði kostnaðaráætlana. Tekin eru dæmi um áætlanir eftir AACE og Anslag
- Vinna úr gögnum í FK-kerfi Vegagerðarinnar um einingarverð og magntöku í uppgjöri verka
- Gera tillögu að bættum vinnubrögðum við áætlanagerð í samgönguverkefnum

Í Bandaríkjunum hefur AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering) skilgreint aðferðafræði við gerð kostnaðaráætlana sem tekur á flestum þeim vanda sem nefndur er hér að framan. Þau hafa lagt mikla áherslu á að sérhverri áætlun fylgi nákvæmar skilgreiningar á því sem áætlunin nái yfir og forsendur fyrir grunninum sem byggt er á. Einnig mæla þeir með að nota áhættugreiningu við mat á óvissu áætlana.

Í Noregi hefur norska vegagerðin þróað í samvinnu við tækniháskólann í Þrándheimi (NTNU) aðferð við gerð kostnaðaráætlana (Anslagsmetoden) sem skylda er að nota við alla áætlanagerð í stærri verkefnum á þeirra vegum. Hún er að mörgu leyti svipuð þeirri frá AACE en leggur mikla áherslu á hópvinnu fólks með mismunandi bakgrunn við gerð þeirra.

Báðum þessum aðferðum er lýst í þessari áfangaskýrslu.

Framkvæmdakerfi Vegagerðarinnar hefur verið þróað og notað í hartnær 30 ár m.a. til að halda utan um gerð kostnaðaráætlana í verkefnum stofnunarinnar. Niðurstöður tilboða í útboðsverk eru færðar inn í kerfið og geymdar. Úr þeim eru síðan unnin einingaverð fyrir hina ýmsu verkþætti sem skilgreindir eru í verkþáttaskrá Vegagerðarinnar. Í þessum gagnagrunni er því að finna geysimikið magn gagna sem nota má til þess að finna dreifingu í verðum verktaka. Þar er einnig að finna gögn sem sýna dreifingu á upphaflegum og endanlegum magntölum í verkum.

Í þessari áfangaskýrslu eru sýnd dæmi um hvernig hægt er að vinna úr gögnum úr FK-kerfinu. Einungis er unnið úr gögnum úr einingarverðabanka kerfisins. Frekari úrvinnsla bíður til seinni hluta verkefnisins. Þar verður einnig unnið úr magnbreytingum í verkum.

Að þessu rannsóknarverkefni vinna Baldvin Einarsson, sem er verkefnisstjóri, Guðrún María Guðjónsdóttir, sem fjallar um gerð kostnaðaráætlana, og svo Ólafur Davíð Friðriksson og Rúnar Steinn Smárason sem unnu tölulega greiningu á gögnum úr FK-kerfinu. Sigurbór Guðmundsson, deildarstjóri hjá Vegagerðinni, er tengiliður við Vegagerðina og hefur unnið gögn úr FK-kerfinu til vinnslu í verkefninu.

2 AÐFERÐAFRÆÐI AACE

2.1 Inngangur

AACE International⁷ (Association for the Advancement of Cost Engineering) var komið á fót árið 1956. Samtökin hafa það að markmiði að deila þekkingu milli félagsmanna, þróa leiðbeiningar og stuðla að menntun á sviði áætlanagerðar og þar að leiðandi styðja við árangursrík verkefni. AACE hafa þannig skilgreint aðferðafræði við gerð kostnaðaráætlana sem tekur á helstu vandamálum sem fylgja gerð þeirra og ætlað er að tryggja að verkefnum sé lokið á réttum tíma og innan kostnaðarramma. AACE skilgreina hugtakið kostnaðaráætlun sem „The prediction of a probable costs of a project or effort, for a given and documented scope, a defined location, and point of time in the future“⁸.

2.2 Nákvæmnistig

Nákvæmni kostnaðaráætlunar er háð undirbúningsstigi verkefnis þar sem skilgreining umfangs verður nákvæmari eftir því sem undirbúningi miðar áfram. Meðal þess sem samtökin hafa gefið út er flokkun á kostnaðaráætlunum sem hefur það að markmiði að samræma nákvæmni áætlana við ákvarðanatökur í verkum. Í hugmyndafræði AACE er áætlunum skipt í 5 flokka eftir stigi undirbúnings og því hversu vel verkefnið er skilgreint á hverjum tíma. Í töflunni hér að neðan er gefið upp bil fyrir dæmigerðan þroska skilgreininga í verkefni. Þá sýnir taflan dæmigert stig ákvarðanatöku, aðferð við kostnaðarmat og líklega óvissu í kostnaðaráætlun fyrir hvern flokk.

Þannig flokkast áætlun í flokk 5 þegar einungis er búið að skilgreina verkið að 2% af fullkomnum verkögnum. Slík áætlun er góð til að meta verk á algjöru hugmyndastigi og má reikna með að nákvæmni áætlunarinnar sé á bilinu -50% til +100%. Við lok hönnunar má hins vegar reikna með að skilgreining sé nálægt 100% og þá má reikna með áætlun í flokki 1 og nákvæmni á bilinu -10% til +15%. Þarna á milli eru síðan 3 flokkar og eru ákvarðanir um verkefnið teknar á mismunandi stigum í ferlinu.

⁷ <https://web.aacei.org/>

⁸ <https://web.aacei.org/docs/default-source/rps/10s-90.pdf?sfvrsn=32>

TAFLA 1 Flokkun AACE á kostnaðaráætlunum fyrir samgönguverkefni.

ESTIMATE CLASS	Primary Characteristic	Secondary Characteristic		
	MATURITY LEVEL OF PROJECT DEFINITION DELIVERABLES Expressed as % of complete definition	END USAGE Typical purpose of estimate	METHODOLOGY Typical estimating method	EXPECTED ACCURACY RANGE Typical variation in low and high ranges at an 80% confidence interval
Class 5	0% to 2%	Concept screening	Cost/length factors, parametric models, judgment, or analogy	L: -20% to -50% H: +30% to +100%
Class 4	1% to 15%	Study or feasibility	Cost/length, factored or parametric models	L: -15% to -30% H: +20% to +50%
Class 3	10% to 40%	Budget authorization or control	Semi-detailed unit costs with assembly level line items	L: -10% to -20% H: +10% to +30%
Class 2	30% to 75%	Control or bid/tender	Detailed unit cost with forced detailed take-off	L: -5% to -15% H: +5% to +20%
Class 1	65% to 100%	Check estimate or bid/tender	Detailed unit cost with detailed take-off	L: -3% to -10% H: +3% to +15%

Table 1 – Cost Estimate Classification Matrix for the Road and Rail Transportation Infrastructure Industries

2.3 Kostnaðarskýrsla

Rannsóknir sýna að ein helsta ástæðan fyrir því að kostnaður fer fram úr áætlunum er að skilgreiningu verkefnis er breytt á hönnunarstigi. Lykilatriði við að hafa stjórn á kostnaði er því að vanda skilgreiningu á umfangi verkefnis og því hvað er innifalið í verkhönnun og þar með á framkvæmdastigi.

Í aðferðafræði AACE er lögð mikil áhersla á að hverri áætlun fylgi nákvæmar skilgreiningar á því sem áætlunin nær yfir og að forsendur fyrir þeim grunni sem þær byggja á séu vel skrásettar. Hverri kostnaðaráætlun ætti að fylgja kostnaðarskýrsla sem hefur þann tilgang að skilgreina umfang verkefnisins og að vera grunnur fyrir breytingastjórnun. Slík skýrsla er unnin eftir leiðbeiningum um uppbyggingu og innhald frá AACE.

Vel unnin kostnaðarskýrsla hefur þá eiginleika að mögulegt er að meta áætlunina óháð öðrum gögnum. Þessu er náð fram með því að setja fram á skýran og hnitmiðaðan hátt tilgang áætlunarinnar og heildarumfang verkefnisins; hvað felst í áætluninni og hvað ekki, auk allra frávika frá hefðbundnum áætlunum. Einnig eru þar settar fram allar forsendur hönnunar og kostnaðar, mögulegar áhættur dregnar fram (þar sem áhættugreining er jafnvel framkvæmd) en einnig bent á möguleg tækifæri. Kostnaðarskýrsla hefur því þann tilgang að stilla upp grunni fyrir umfang, magn og kostnað til notkunar við að fylgjast með þróun kostnaðar í gegnum verkefnið og auðvelda endurskoðun og staðfestingu áætlunarinnar. Auk þess hefur kostnaðarskýrsla að geyma helstu samskipti og samninga sem fóru fram við undirbúning áætlunar auk skjala sem stuðst var við og hefur því þann tilgang að vera til stuðnings í deilumálum sem komið geta upp.

2.4 Ófyrirséður kostnaður áætlaður með mati á dreifingu

2.4.1 Almennt

AACE skilgreinir ófyrirséðan kostnað (e. contingency) sem þann kostnað sem bætt er við áætlun og er ætlað að ná yfir óvissu og breytileika sem felst í áætluninni auk ófyrirsjáanlegra kostnaðarþátta innan skilgreinds umfangs verkefnisins. Ófyrirséður kostnaður nær þannig yfir hluti, aðstæður eða atburði sem hafa óvissar afleiðingar og reynslan sýnir að muni að öllum líkindum leiða til aukins kostnaðar. Auk þess nær hann yfir vankanta á skilgreiningu og umfangi verkefnisins, við matsaðferðir og þau gögn sem liggja til grundvallar. Ófyrirséður kostnaður felur ekki í sér meiriháttar breytingar sem verða á skilgreiningu á umfangi verkefnis eða óvænta atburði svo sem náttúruhamfarir eða verkföll.

Ákvörðun á ófyrirséðum kostnaði sem fylgir áætlun er nauðsynlegur til þess að ná fram æskilegu vissustigi (e.: *level of confidence*). Þó það sé nokkuð góð samstaða meðal kostnaðarsérfræðinga um það hvað ófyrirséður kostnaður er að þá er mun minni samstaða um það hvernig leggja eigi mat á slíkan kostnað. Það eru til allmargar aðferðir til að leggja mat á áhættu og áætla ófyrirséðan kostnað og engin ein er réttari en önnur. Hermigreining (e. simulation analysis) er ein af þeim aðferðum sem AACE mælir með en ein algengasta aðferðin er mat á dreifingu (e. range estimating) sem notast við Monte Carlo eða álíka hermanir. Slíkar greiningar hafa þann kost að þær sameina reynslu sérfræðinga og líkanagerð til að áætla líkur. Ókosturinn við slíkar greiningar er sá að þær krefjast mikillar sérfræðiþekkingar og útkoman er mjög háð inntaki teymisins sem vinnur greininguna.

2.4.2 Mat á dreifingu

Kostnaðaráætlun byggir venjulega á kostnaðar- eða verkþáttum sem búið er að gefa áætluð gildi, þ.e. þau gildi sem talin eru líklegust fyrir magn og einingarverð. Mat á dreifingu byggist venjulega á því að þessir þættir eru metnir hvor fyrir sig og áætluð er dreifing fyrir þá. Áður en farið er í að leggja mat á ófyrirséðan kostnað er mikilvægt að skilgreina áhættuþætti og taka tillit til þeirra þegar lagt er mat á dreifingu. Dreifingin er síðan ákvörðuð af kostnaðarteymi sem samanstendur af aðilum sem hafa reynslu og þekkingu á verkinu og þeim áhættum sem taka þarf tillit til. Hópurinn þarf að hafa fulla þekkingu á umfangi verksins, markmiðum og áætlunum, þar með talið öllum gögnum sem liggja til grundvallar. Lögð er mikil áhersla á að ófyrirséður kostnaður ákvarðaður með áhættugreiningu er ekki mælikvarði á nákvæmni áætlunar heldur er honum ætlað að endurspegla áhættu með tilgreindum líkum á að ljúka ekki verkefni innan áætlunar.

Samkvæmt AACE er lykilatriði í áhættugreiningu, sem byggist á mati á dreifingu, að bera kennsl á þá þætti sem eru krítískir fyrir heildarkostnað verksins og aðeins að áætla dreifingu fyrir þá. Krítísku þættirnir eru skilgreindir sem þeir þættir sem geta breyst það mikið, hvort sem það er á hagstæðan eða óhagstæðan hátt, að frávik á heildarkostnaði verks fari yfir ákveðin mörk. Aðrir þættir eru færðir inn í greininguna sem föst summa. Sýnt hefur verið fram á að óvissa felst vanalega í ákveðnum fjölda slíkra þátta eða á bilinu 10-20. Einnig er mikilvægt að skilgreina fylgni á milli þeirra verkþátta sem eru háðir hver öðrum svo niðurstaðan verði sem raunhæfust.

TAFLA 2 Krítísk frávik á heildarkostnaði samkvæmt AACE

Bottom Line Critical Variances		
Bottom Line (Cost or Profit)	Conceptual Estimates (AACE Classes 3, 4, 5)	Detailed Estimates (AACE Classes 1, 2)
Cost Δ	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.2\%$
Profit Δ	$\pm 5.0\%$	$\pm 2.0\%$

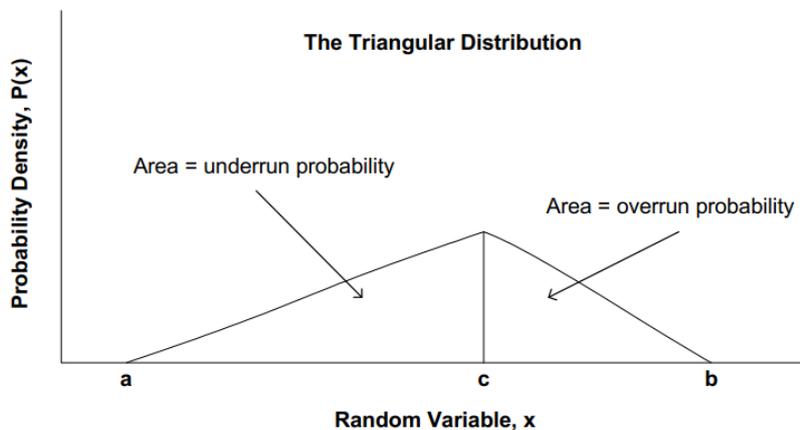
Lykilatriði er að skilgreina dreifinguna á raunhæfan hátt með tilliti til allra óvissupátta. Mælt er með að dreifingarnar séu ákvarðaðar á líkindabilinu 98+% (þ.e. P1/P99) og er ætlað að endurspegla þá áhættu sem felst í því sem getur orðið en ekki er endilega búist við að gerist. Þannig þarf að taka tillit til atburða sem eru mögulegir en ólíklegir eins og t.d. ofsaveður. Mjög sjaldgæfir, áhættudrifnir atburðir eru þó undanskildir og eru fyrir utan bilið. Tekið er dæmi um svæði þar sem búist er við fellibyl einu sinni á tíu ára fresti. Þó ekki sé búist við fellibyl á framkvæmdartíma, þá er um mögulegan atburð að ræða sem taka þarf tillit til. Hins vegar ef um er að ræða afar ólíklegan atburð t.a.m. 100 ára atburð af mikilli stærðargráðu, myndi það sennilega leiða til verulegs ofmats á áhættu og ófyrirséðs kostnaðar. Einnig er mikilvægt að tekið sé tillit til allra vankanta á áætluninni þegar dreifingin er ákveðin.

Auk þess að leggja mat á dreifingu þá þarf einnig að meta líkurnar á því raunvirði fari ekki fram úr líklegasta gildi fyrir hvern þátt. Í rauninni ættu þær líkur að liggja fyrir áður en lagt er mat á lægstu og hæstu mögulegu útkomu, en með því er komið í veg fyrir að teymið ranglega geri ráð fyrir að líkurnar tákni innbyrðis hlutföll dreifingarinnar og hvar líklegasta gildið er staðsett.

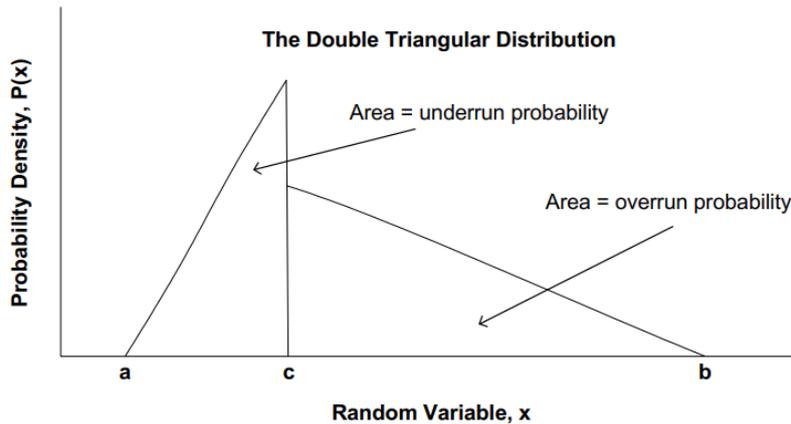
Varað er við því að vanmeta ekki þá vinnu sem liggur að baki áætlun dreifingar; að safna upplýsingum um krítíska þætti og umræður en reynslan hefur sýnt að slíkir umræðufundir krefjast allt að 6-8 tíma, jafnvel fyrir smærri verk.

2.4.3 Þríhyrningsdreifing (þriggja punkta mat)

Monte Carlo og sambærilegar hermanir sem beitt er við áhættugreiningu krefjast þess að skilgreind séu líkindaþéttleikaföll (e.: *probability density function*) fyrir hvern þátt. Þó að í sumum tilfellum sé hegðun þáttanna þekkt og samræmist tiltekinni tegund falla, eins og lognormal eða beta drefingu, er það almennt svo að það fall sem raunverulega lýsir þættinum er ekki þekkt. Samkvæmt AACE er skynsamleg nálgun að notast annað hvort við þríhyrningsdreifingu eða tvöfalda þríhyrningsdreifingu.



MYND 2 Þríhyrningsdreifing.



MYND 3 Tvöföld þríhyrningsdreifing.

Á myndunum má sjá hvernig dreifingarnar líta út. Þrjú punkta mat byggir á þeim gildum sem skilgreind eru fyrir hvern verkþátt; líklegasta gildi (c), neðri og efri mörk dreifingarinnar (a og b). Flatarmál beggja hliða þríhyrningsins (sitt hvorum megin við líklegasta gildið) er í réttu hlutfalli við líkurnar á því að raunverulegt gildi sé meira eða minna en áætlað var. Algengt er að líkurnar sem þríhyrningsdreifingin gefur stemmi ekki við þær líkur sem metnar voru af teyminu. Í flestum tilfellum er tvöföld þríhyrningsdreifing því betri nálgun.

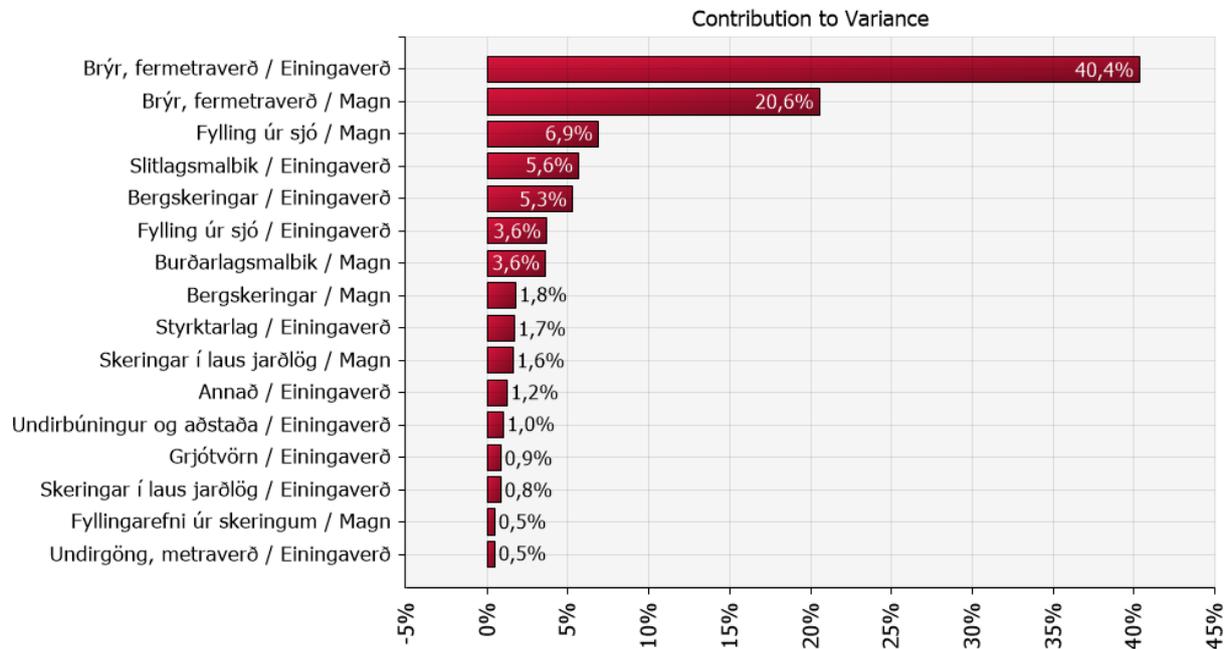
2.4.4 Mat á ófyrirséðum kostnaði og líkur á umfram kostnaði

Til að áætla líkindadreifingu heildarkostnaðar er hægt að notast við ýmis tölfræðiforrit meðal annars @RISK sem er viðbótarforrit fyrir Excel tölflureikninn. Þá er Monte Carlo eða sambærilegri hermun beitt sem styðst við slembibreytur sem byggja á dreifingunum sem skilgreindar voru. Mælt er með 1000 endurtekningum þar sem það er almennt talið vera nóg fyrir áreiðanlegar niðurstöður. Líkindadreifingin sem fæst úr hermuninni lýsir áætluðum heildarkostnaði og segir til um nauðsynlegan ófyrirséðan kostnað sem þarf til, til að ná tilætluðum líkum. Gott mat ætti að hafa jafnar líkur á því að kostnaður fari fram úr áætlun eða verði undir (þ.e. 50% líkur á yfir og undirmati). Þetta samsvarar P50 gildi dreifingarinnar (median). Hér er um áhættuhlutlausu nálgun að ræða, þar sem gengið er út frá því að verkþættir sem fari fram úr og þeir sem eru undir jafni hvort annað út til lengri tíma.

Íhaldssamari nálgun er að skilgreina 80% líkur á að verkið fari ekki fram úr áætlun. Um er að ræða viðhorf sem byggist á áhættufælni og er oft notað af gróðafyrirtækjum. Þetta er öruggari leið sem leiðir af sér hærri ófyrirséðan kostnað og þar að leiðandi hærri áætlaðan verkkostnað sem getur leitt til rangrar dreifingar á fjármunum. Athuga þarf að ófyrirséður kostnaður tekur ekki tillit til þess sem er kallað „management reserve“, sem er sú upphæð sem er bætt við áætlun vegna mögulegra breytinga á umfangi eða skilgreiningu verks.

Áður en teymið samþykkir endanlega þann ófyrirséða kostnað sem ætlað er að fylgi áætluninni er mikilvægt að farið sé vel yfir greininguna og þau gögn og forsendur sem liggja að baki vinnunni til að tryggja gæði og árangursríka miðlun á niðurstöðum. Þetta felur m.a. í sér að bera niðurstöðurnar saman við reynslugögn, fyrri niðurstöður og mat eða væntingar sérfræðinga. Niðurstöður greiningar sem ekki eru í takt við fyrri reynslu eru ekki endilega ógildar, heldur þýðir það að mikilvægt sé að yfirfara þær og tryggja það að ekki sé um neinar villur eða yfirsjón að ræða.

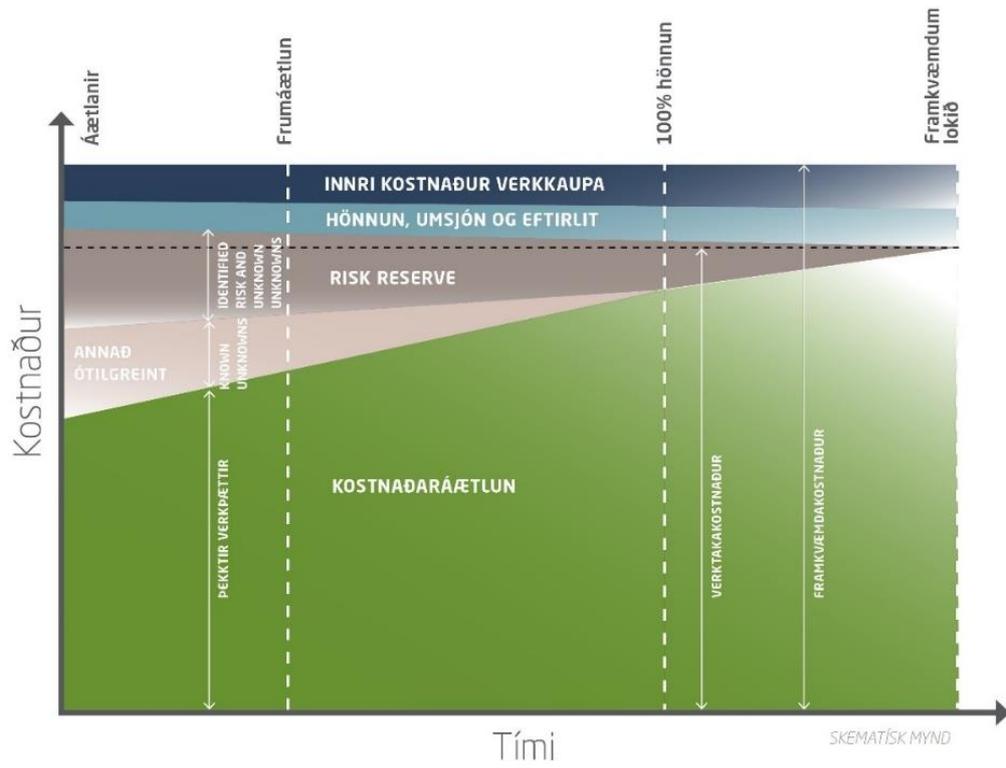
Niðurstöður greiningarinnar fela einnig í sér önnur gögn sem nýtast til stuðnings við ákvörðunarferlið. Svokölluð „tornado diagrams“, eru gröf sem á myndrænan hátt setja fram þær áhættur og tækifæri sem felast í hverjum verkþætti. Verkþáttunum er þá raðað upp eftir því hve möguleg áhrif þeirra eru á heildarniðurstöðuna, en við áframhaldandi vinnu er þannig hægt að leggja áherslu á þá verkþætti sem valda mestri óvissu. Dæmi um slíkt graf má sjá á mynd hér að neðan.



MYND 4 Dæmi um „tornado diagram“ í vegagerðarverki þar sem verkþáttum er raðað upp eftir mögulegum áhrifum.

2.4.5 Hvenær á að beita aðferðafræðinni

Slíkum aðferðum ætti að beita reglulega í gegnum öll stig hönnunar og framkvæmda til að fylgjast með þróun á ófyrirséðum kostnaði og til að endurspegla framvindu verksins. Reglubundið mat gefur þannig til kynna hvenær ekki er lengur þörf á ófyrirséðum kostnaði auk þess að varpa ljósi á vandamál sem koma upp eða möguleg vandamál sem krefjast úrbóta og/eða endurskoðunar á fjármagni verkefnisins. Myndin að neðan sýnir aðra framsetningu á dæmigerðri þróun á kostnaðarmati eftir því sem undirbúningi verklegra framkvæmda vindur fram og nákvæmni eykst.



MYND 5 Dæmigerð þróun kostnaðaráætlana með framvindu undirbúnings verklegra framkvæmda

3 AÐFERÐAFRÆÐI ANSLAG

3.1 Inngangur

Grunnurinn að Anslagsaðferðinni var þróaður af Steen Lichtenberg í DTU í Kaupmannahöfn á áttunda áratug síðustu aldar. Hún var þróuð til að gera grófar kostnaðaráætlanir snemma í hönnunarferlinu og um leið að meta óvissuna í áætlunum. Aðferðin gengur út á að:

- Verkefninu er skipt í grófa verkþætti í byrjun sem síðan eru brotnir niður í fínni einingar eftir því sem þörf krefur.
- Mat á óvissu í hverjum verkþætti með endurteknu mati
- Tölfræðilegri úrvinnslu gagnanna með nægilega einföldum hætti

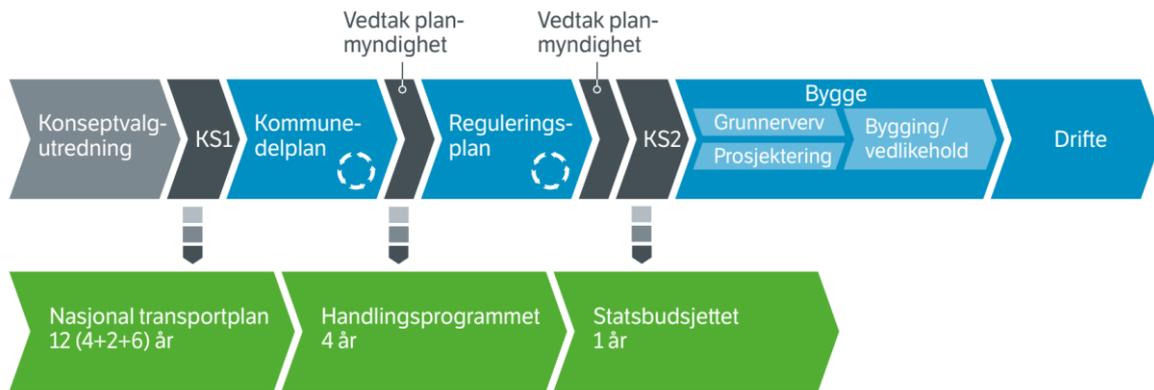
Grunnhugsunin er því sú að byrja á grófri áætlun og meta óvissu á hverjum þætti. Síðan eru þeir þættir þar sem óvissan er mest í lokaniðurstöðunni skoðaðir betur. Haldið er áfram að greina sundur mestu óvissuþættina þar til ásættanlegri nákvæmni er náð miðað við það hönnunarstig sem unnið er á.

Aðferðin var tekin upp í Noregi í framhaldinu og var tekin upp hjá norsku vegagerðinni á tíunda áratug síðustu aldar. Síðan þá hafa verið þróaðar betri útgáfur og árið 2010 var tekin í notkun Windows útgáfa sem byggði tölfræðiúrvinnsluna á Monte Carlo hermilíkani (handbók frá 2014). Árið 2021 kom síðan út ný handbók með leiðbeiningum um hvernig standa skal að gerð kostnaðaráætlana fyrir norsku vegagerðina.⁹ Í handbók norsku vegagerðarinnar eru gerðar kröfur um á hvaða stigum undirbúnings framkvæmda gera skuli kostnaðaráætlun.¹⁰ Þar er þess krafist að Anslagsaðferðin sé notuð við gerð þeirra.

Í Noregi eru gerðar kröfur um kostnaðaráætlanir á þremur stigum í áætlunum stjórnvalda; þ.e. við valkostagreiningu, aðalskipulag og við deiliskipulag. Til viðbótar er svo gerð kostnaðaráætlun við veitingu framkvæmdaleyfis áður en verkið er boðið út.

⁹ Anslagsmetoden, Håndbok R764. Statens vegvesen, 2021.

¹⁰ Styling av vegprosjekter. Håndbok R760. Statens vegvesen, 2021.



MYND 6 Samband milli áætlanagerðar stjórnvalda og hönnunarstiga framkvæmdar í Noregi.

Eðli málsins samkvæmt eru þessar áætlanir misnákvæmar og hentar því aðferðin vel til að takast á við áætlanir á mismunandi stigum, sérstaklega þar sem henni er áætlað að meta óvissu kostnaðar á hverju stigi.

Í Noregi er gerð kostnaðaráætlana með Anslagsaðferðinni reist á þremur megin stoðum:

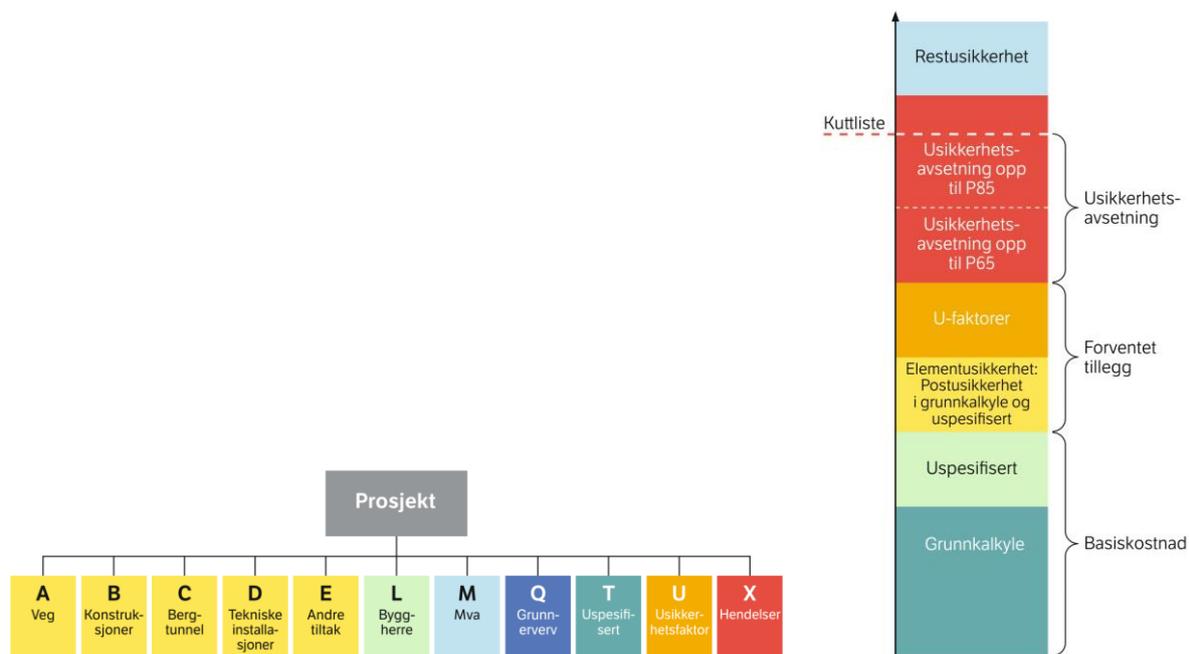
- Áætlunin er gerð frá toppi og niður, þ.e. frá grófri áætlun til finni
- Áætlunin er gerð af hópi fólks með þekkingu og reynslu á mismunandi sviðum
- Gögn um óvissu eru meðhöndluð með tölfræðilegri úrvinnslu á óvissuþáttum

Hér á eftir verður fjallað um uppbyggingu kostnaðaráætlana eftir Anslagsaðferðinni og sérstaklega fjallað um hvern ofangreindra þátta sérstaklega.

3.2 Uppbygging á kostnaðaráætlun

Kostnaðaráætlanir hjá norsku vegagerðinni eru sundurliðaðar eftir mannvirkjum og/eða mannvirkjaflokkum; vegagerð, brúargerð, jarðgöng og tæknibúnað (A-E). Ofan á það bætist síðan kostnaður verkkaupa (L), virðisaukaskattur (M), landakaup (Q) og ótilgreindur kostnaður (T). Summan af þessum liðum (A-E + L + M + Q + T) verður grunnkostnaður í áætluninni.

Ótilgreindur kostnaður er ýmislegt sem líklegt er að sé vantalið í áætluninni. Stærðin á þessum lið er háður stöðu verkefnisins í undirbúningi; fyrir verk á frumdragastigi er hann eðlilega hærri en á útboðsstigi þegar skilgreining verkefnis og hönnun eru á lokastigi. Í Noregi er mælt með því að nota 16-20% við valkostagreiningu (utredning), 10-15% á skipulagsstigi (kommunedelplan) og 3-7% á deiliskipulagsstigi (reguleringslan).



MYND 7 Yfirlitir í kostnaðaráætlun og uppbygging mismunandi liða eftir Anslag.

Þá er bætt við áætlunina óvissuþáttum (U). Þetta eru þættir sem ekki eru beint háðir óvissu í magnreikningum eða einingaverðum heldur eru vegna innri eða ytri áhrifa á verkið. Þar má nefna markaðsaðstæður, veðurfar/árstíð, umhverfiskröfur, skipulagskröfur, byggingartími, atvinnulíf, umferðartruflanir á byggingartíma, nágrannar, grundunaraðstæður o.s.frv. Þessir þættir hafa áhrif á marga kostnaðarliði í verkinu og eru því lagðir á sérstaklega sem álag eða afsláttur á þá kostnaðarliði sem grunnkostnaður áætlunarinnar samanstendur af. Í Anslag eru þetta tölur með meðalgildi nálægt einum og gefnir upp með líklegu bili og taka því þátt í óvissugreiningu kostnaðaráætlunarinnar. Hægt er að velja við hvaða kostnaðarliði óvissuþættirnir eiga.

Loks er í áætluninni sérliður fyrir óvænta atburði (hendelse) í verkefninu. Óvæntur atburður er atburður sem minna en 10% líkur eru á að eigi sér stað. Hann er settur inn í áætlunina með öðrum liðum í óvissugreininguna með verði og líkunum á að hann eigi sér stað.

Í kostnaðaráætlun getur verið erfitt að greina sundur óvissu í einstökum kostnaðarliðum (A-T), óvissuþáttum (U) og óvæntum atburðum (X). Meginreglan er sú að í kostnaðarliðunum er eingöngu óvissa í magni og einingaverði, í óvissuþáttum (U) eru líkur á atburðum á bilinu 10-50% en óvæntir atburðir (X) hafa innan við 10% líkur á að gerist.

3.3 Gerð kostnaðaráætlana

Í Anslagsaðferðinni er kostnaðaráætlun gerð frá toppi og niður, þ.e. byrjað er að gera grófa áætlun sem síðan er bætt og gerð fínna eftir því sem verki miðar áfram eða þörf er á betri nákvæmni einstakra liða. Hún fellur því að mörgu leyti vel að vinnugangi samgönguverkefna þar sem ákvarðanir eru gjarnan teknar áður en miklar upplýsingar liggja fyrir. Þetta er andstætt því sem gjarnan er gert í áætlunum fyrir mannvirki þar sem áætlun er gerð á grundvelli niðurbrotinna verkþátta í verkinu við útboð.

Það eru aðallega tvær ástæður fyrir því að nota þessa nálgun við gerð áætlana.

Í fyrsta lagi er minni hættu á að eitthvað gleymist. Þegar byrjað er á grófum verkhlutum við gerð áætlana eru gjarnan notaðar reynslutölur um kostnað við heilu mannvirkin með öllum kostnaði annars staðar. Þannig má nota fermetraverð í brúm eða lengdarmetraverð í vegum sem grunneiningar í grófri áætlun. Sé hins vegar mannvirkið brotið niður í verkþætti á fyrri stigum er hættu á að eitthvað gleymist, t.d. heilir verkþættir sem skipta máli. Þá er nauðsynlegt að bæta við óskilgreindum kostnaði til að taka tillit til þess.

Í öðru lagi er auðveldara að tryggja að allir kostnaðarliðir séu óháðir hver öðrum. Séu verk brotin niður í marga verkþætti eru líkur á að kostnaður við nokkra og stundum fjöldann allan af þeim sé á einhvern hátt háður þannig að þegar einn liður vex þá eru líkur á að það eigi líka við um aðra þætti. Erfitt getur verið að taka tillit til samverkunar milli liða þegar þeir verða margir.

Loks má geta þess að áætlanagerðin verður markvissari þegar athyglinni er aðallega beint að þeim þáttum í henni sem skapa mesta óvissu á hverju stigi.

3.4 Hópvinna við kostnaðargreiningu

3.4.1 Anslagsferlið

Anslagsferlið byggist á að hópur undir stjórn verkstjóra (prosessleder) fer markvisst í gegnum verkefnið með það að markmiði að fá raunhæfasta mat á kostnaði og mögulegum óvissuþáttum í verkframkvæmdinni. Það er mjög mikilvægt að allir í hópnum séu virkir í öllu ferlinu. Ferlinu má skipta í þrjú fasa. Í fyrsta lagi er undirbúningur sem er að mestu á könnu verkstjórans. Hann tilnefnir Anslagshópin, safnar saman öllum gögnum og dreifir á meðlimi og boðar og undirbýr fundinn.

Í öðru lagi er svo sjálfur Anslagsfundurinn. Hann stendur gjarnan í 1-3 daga eftir umfangi verksins. Þar er farið markvisst í gegnum alla liði kostnaðaráætlunarinnar, hönnuður eða verkefnisstjóri leggja til magntölur en hópurinn leggur til einingaverð. Allir taka þátt í að meta óvissuliði. Það getur verið mat á óvissu á magntölum eða einingaverði, en stórum hluta vinnunnar er varið í að meta innri eða ytri óvissuþætti sem geta haft áhrif á kostnað eða tímaáætlun í verkinu. Sérstakur ritari færir jafnóðum tölur og athugasemdir inn í forrit sem reiknar út líklega dreifingu kostnaðar og metur samverkandi óvissuþætti. Því er hægt að fylgjast með á fundinum hvernig ólíkir þættir hafa áhrif á endanlegt kostnaðarmat. Þess vegna er mjög mikilvægt að áætlunin sé unnin í grófum liðum fyrst en síðan gerð fínlegri til þess að ná ásættanlegri nákvæmni í lokin.

Í þriðja lagi er síðan lokafrágangur skýrslu þar sem allar niðurstöður af fundinum eru teknar saman í skýrslu sem er undirrituð af verkefnisstjóra verkefnisins.

3.4.2 Samsetning matshóps

Við gerð kostnaðaráætlunar er lögð mikil áhersla á samsetningu matshópsins. Til að fá góða áætlun er gerð krafa um þekkingu og reynslu hópsins. Reiknað er með að í hópnum séu um 5 – 10 manns og fer stærð hópsins eftir stærð verkefnis, flækjustigi og fjölda fagsviða. Nauðsynlegt er talið að hafa meðlimi

sem hafa reynslu af verkefnastjórn, byggingastjórn og rekstri og viðhaldi mannvirkja innan hópsins. Síðan þarf að minnsta kosti einn úr hönnunarteyminu og kostur er ef sem flestir meðlimir hópsins þekki eitthvað til verkefnisins.

Lögð er áhersla á að matshópurinn sé samsettur af fólki sem er tilbúið að taka virkan þátt í ferlinu og vinna saman að niðurstöðu. Best er að þátttakendur séu víðsýnir og gæta verður þess að ólík sjónarmið um framkvæmdina séu í jafnvægi. Veljist einsleitur hópur saman með svipaða sýn á verkefnið er hættu á að hópurinn verðir hlutdrægur, horfi fram hjá andstæðum sjónarmiðum og haldi bara fram sínum. Einnig þarf að velja þátttakendur sem eru bæði bjartsýnir og svartsýnir.

Í sérhæfðum verkefnum eða við sérstaka verkþætti er nauðsynlegt að kalla til sérfræðinga á sínu sviði. Það er hins vegar mikilvægt að með í hópnum séu líka meðlimir sem hafa víða yfirborðspekkingu.

Eins og áður sagði er Anslagsferlinu stjórnað af verkstjóra sem hefur sér til fulltingis ritara (datastötte). Síðan tekur verkefnisstjóri og/eða hönnuðir þátt í fundinum. Þeirra hlutverk er að gefa upplýsingar um verkefnið og leggja til magntölur. Það er ekki ætlast til að þeir taki virkan þátt í að greina verð eða kostnað. Loks eru í hópnum tveir eða fleiri aðilar, gjarnan reyndir verkefnisstjórar úr framkvæmdum, sem hafa þekkingu á raunverulegum verðum verktaka og óvissuþáttum við framkvæmdir. Loks geta verið kallaðir til sérfræðingar um afmarkaða þætti ef verkefnið er óvenjulegt eða flókið.

Í Anslagshandbókinni er mjög vandlega skilgreint hvert sé hlutverk hvers aðila á fundinum og ítarlegir gátlistar eru til stuðnings fyrir allt ferlið.

3.4.3 Hópvinna

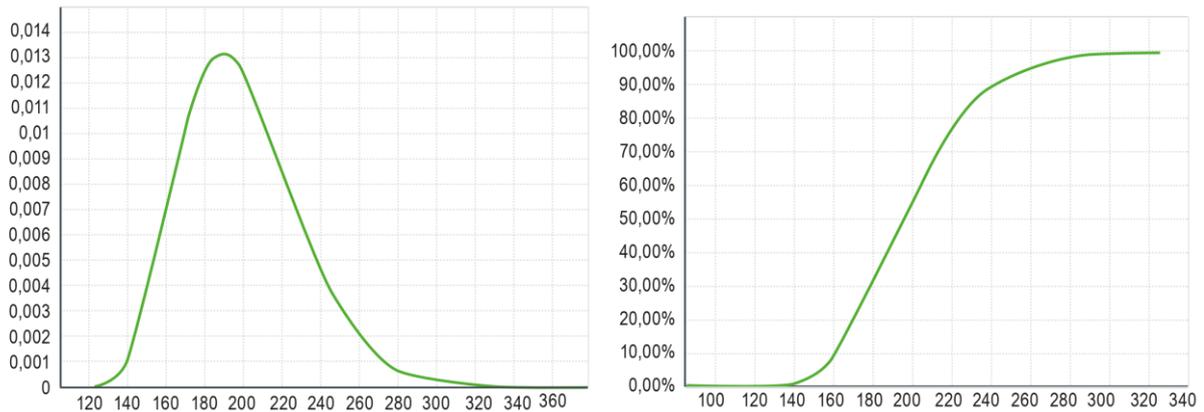
Hópvinna við kostnaðaráætlanagerð er grundvallaratriði í Anslagsaðferðinni. Hópvinna er ekki góð við að vinna við einstök deili eða vinna með mikið magn af upplýsingum og tölum. Það er því mikilvægt að búið sé að setja upp grunnskjöl sem fjalla á um í hópnum. Þó að hópnum sé ekki ætlað að taka ákvarðanir í verkefninu þá leiðir hópvinnan til þess að góð kostnaðarskýrsla verður til sem nýtist við ákvarðanatöku í framhaldinu.

Í hópavinnu sem þessari má búast við að fram komi mismunandi skoðanir á verklagi og kostnaði. Það er verkefni hópsins að taka á slíkum skoðanamun og leiða hann til lykta og sjá til þess að öll sjónarmið komist í kostnaðarskýrsluna.

3.5 Tölfræðileg úrvinnsla óvissuþátta

Í venjulegri kostnaðaráætlun sem samanstendur af magni og einingaverðum einstakra liða er veruleg óvissa tengd hverjum lið. Þannig getur magn breyst í framkvæmdinni frá hönnuðu magni. Það á ekki síst við í vegagerð þar sem verið er að flytja til mikla massa af jarðefnum. Einnig er veruleg óvissa í einingarverðum þangað til að búið er að semja við verktaka um verð. Hægt er að taka tillit til þessara óvissuþátta með tölfræðilegum aðferðum.

Í Anslagsaðferðinni er gert ráð fyrir að óvissa einstakra liða hafi gammadreifingu.

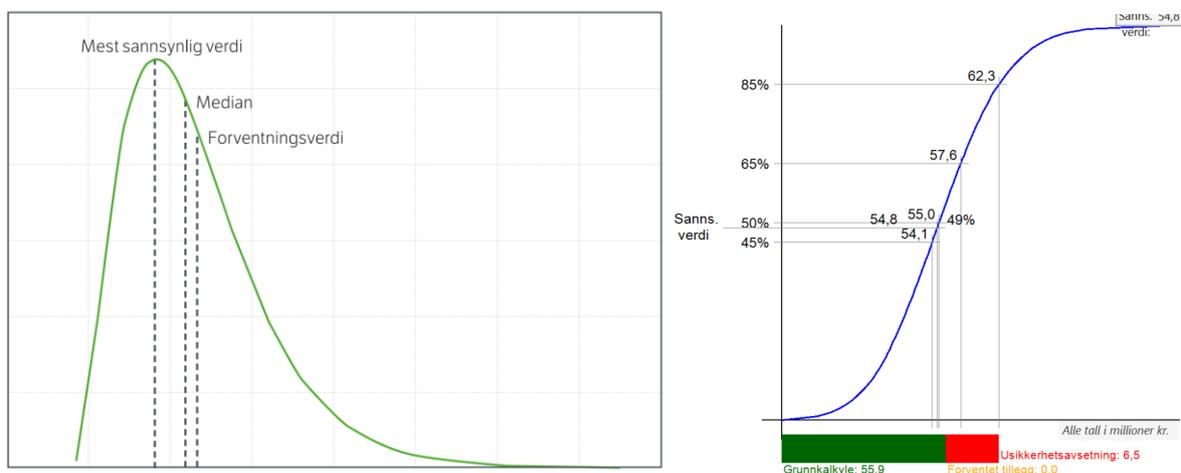


MYND 8 Gammadreifing við vinstri og summudreifing til hægri.

Gammadreifingu er hægt að skilgreina ef þrjú punktar eru þekktir á henni. Í Anslagi er gert ráð fyrir að skilgreina líklegasta gildi sem er topppunktur dreifingarinnar og svo þá punkta sem gefa að 10% líkur eru á að gildi falli neðan við neðri mörkin eða ofan við efri mörkin. Þetta er svokallað þriggja punkta mat. Hægt er að velja aðra punkta á dreifingunni en komið hefur í ljós að þessir punktar þykja hentugir og auðveldir í meðförum.

Aðferðin felst því í að meta líklegasta gildi á hverjum kostnaðarþætti (bæði magni og einingaverði) sem venjulega er valið gildi í venjulegri kostnaðaráætlun og meta síðan hvar 10% mörkin liggja til beggja handa, þ.e. neðri og efri mörk á hvort sem er magni eða einingaverði. Oftast eru 10% mörkin ekki sammiðja um líklegasta gildi og algengast er að dreifingarnar séu skakkar til hægri eins og sýnt er á myndinni.

Við tölfræðilegu úrvinnsluna er notuð svokölluð Monte Carlo aðferð. Þar eru gildi hvers þáttar valin með slembiúrtaki eftir líkindadreifingu þáttanna og heildarkostnaður fundinn. Aðgerðin er síðan endurtekin mörgum sinnum, t.d. 100.000 sinnum. Niðurstöðurnar gefa þá dreifingu heildarkostnaðar. Með meiri fjölda endurtekninga verður dreifingin jafnari. Eftir því sem fleiri liðir eru inni í útreikningunum þeim mun meira líkist dreifingin normaldreifingu, þ.e. skekkjan í dreifingunni hverfur.



MYND 9 Sambandið milli þriggja grunnstærða dreifingarinnar. Til hægri er niðurstaða úr Anslagi fyrir vegskála í Noregi.

Toppurinn á dreifingunni er líklegasta gildi kostnaðarins. Miðgildið sýnir hvar flatarmálið undir kúrfunni skiptist í tvennt. Það eru því jafnmiklar líkur á að niðurstaðan sé vinstra megin og hægra megin, kallað P50 gildi. Svo er þyngdarpunktur dreifingarinnar eða væntigildi (forventningsverdi) og því líklegasta meðalverð. Eftir því sem að skekkja dreifingarinnar minnkar þá falla öll þessi gildi meira saman. Það gerist þegar liðunum fjölgar sem teknir eru í greininguna.

Þegar notaðar eru slembiaðferðir við tölulega greiningu þá er gert ráð fyrir að allar breyturnar í greiningunni séu óháðar. Í kostnaðaráætlunum í vegagerð er algengara að ýmsir liðir séu beint tengdir eða tveir eða fleiri liðir breytist af sömu orsökum. Þannig má t.d. reikna með að mikil samvirkni sé milli samsvarandi liða við jarðvinnu við mismunandi áfanga í stóru verki. Einnig er líklegt að einhver samsvörun sé milli verðs á stáli í stálburðarvirki og bendistáls í steypu við brúargerð.

Í Anslagi er hægt að taka tillit til samverkunar milli liða. Er þá annað hvort reiknað með meðalsamvirkni (50%) eða fullri samvirkni (100%).

4 GÖGN ÚR FRAMKVÆMDAKERFI VEGAGERÐARINNAR

4.1 Framkvæmdakerfi Vegagerðarinnar

Áætlanakerfi Vegagerðarinnar (AK-kerfið) á rætur sína að rekja til áttunda áratugar síðustu aldar þegar útboðum á vegagerðarverkum fór fjölgandi. Markmið kerfisins var að halda utan um tilboð verktaka og mynda banka af einingarverðum til að nota við áætlanagerð innan Vegagerðarinnar.¹¹

Í kerfinu var safnað saman öllum tilboðum í skilgreinda verkþætti í verkum á vegum Vegagerðarinnar. Úrvinnsla gagna var með þeim hætti í stuttu máli að tekið var meðaltal tilboða í hvern verkþátt þegar búið var að henda út hæsta og lægsta verði. Verðbankinn var síðan uppfærður reglulega með nýjum tölum ef þurfa þótti og verð uppreiknuð með vísitölum vega- og brúargerðar sem Vegagerðin heldur utan um.

Á níunda áratug síðustu aldar var kerfið útvíkkað (FK-kerfið). Upphaflega var þá um að ræða kaupakakerfi fyrir starfsmenn Vegagerðarinnar, en á þessum árum unnu starfsmenn Vegagerðarinnar sjálfir að mörgum verkum í vega- og brúargerð. Kerfið byggðist á umfangsmiklum mælingum á aðföngum verkþátta sem urðu grunnurinn að aðfangagreiningu verka sem hægt var að nota sem grunn að greiðslu kaupauka til starfsmanna. Með því að tengja tímaáætlun aðfangagreiningar við verðbanka fyrir mismunandi aðföng var hægt að nota kerfið til að gera kostnaðar- og tímaáætlanir fyrir verk sem byggðust á nákvæmri aðfangagreiningu.

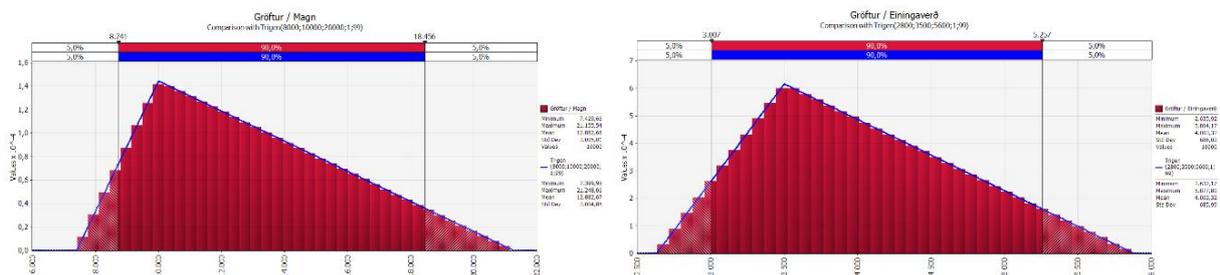
Með vaxandi útboðum á verkefnum í vega- og brúargerð og minni umsvifum Vegagerðarinnar í framkvæmdum fjaraði undan kerfinu í þessari mynd. Það er þó notað við áætlanir í brúargerð og þjónustuverkum í eigin verkum Vegagerðarinnar. Í vegagerð reyndist erfitt að halda kerfinu við þar sem Vegagerðin stóð ekki sjálf í stórfamkvæmdum og hröð þróun varð í tækjakosti og vinnubrögðum í vegagerð.

¹¹ Munnlegar upplýsingar frá Rögnumvaldi Gunnarssyni, Birni Ólafssyni og Einari Hafliðasyni. Mars 2022.

4.2 Úrvinnsla gagna úr FK-kerfinu

4.2.1 Almennt

Í þessu rannsóknarverkefni er gerð tilraun til að nota gagnagrunn Vegagerðarinnar í Framkvæmdakerfinu til þess að skoða breytileika í einingarverðum verkþátta í tilboðum og breytileika í magnuppgjöri í verkum frá útboði. Markmiðið er að finna hvort ekki megi áætla líklega dreifingu einingarverða og magns sem nota má í tölulega óvissugreiningu með Monte Carlo aðferð við gerð kostnaðaráætlana. Eins og fjallað er um í kafla um aðferðafræði AACE við gerð kostnaðaráætlana er gert ráð fyrir að breytileiki bæði í einingarverði og magni hafi príhyrningslaga dreifingu þar sem toppunktur príhyrningsins er líklegasta verð og endapunktur hans eru þar sem 1% líkur eru á að verð eða magn lendi fyrir utan.



MYND 10 Dæmigerðir príhyrningar fyrir magn og einingaverð fyrir verkþáttinn gröft.

Það hefur verið veikleiki þessarar aðferðar að lögun þessara príhyrninga er lítið þekkt fyrir einstaka verkþætti. Líklegt er að þeir séu breytilegir bæði að formi og einnig stærð grunnlínunnar sem markar mögulega dreifingu. Oftast er reiknað með að príhyrningarnir séu skakkir með lengri hala hægra megin, þ.e. að meiri óvissa sé uppávið heldur en niðurávið. Þetta er hins vegar mismunandi eftir eðli verkþáttanna.

4.2.2 Meðhöndlun gagna

Einingaverð:

Fengin var úrskrift af öllum verðum í verkþætti í verk á vegum Vegagerðarinnar á 6 ára tímabili, 2016-2021. Einungis er unnið með meðalverð verkþátta þegar búið var að henda út hæsta og lægsta verði í hvern verkþátt. Í sumum tilvikum þar sem tilboð voru fá, eru meðaltöl tekin af öllum tilboðum.

Þar sem verið er að vinna með vegin meðaltöl úr tilboðum þá má reikna með að raunverulega hafi verkþættirnir verið unnir á lægra verði því að öllu jöfnu fær sá verktaki verkið sem er oftast með lægsta verð í verkþáttinn. Einnig fellur líklegasta verð ekki ofan í vegin meðaltalsverð fyrir skakkar dreifingar og getur sá munur verið verulegur. Þetta sést t.d. á myndinni þar sem líklegasta verð er áætlað 3.500 kr./m³ en meðalverðið verður 4000 kr./m³ vegna þess að dreifingin er skökk til hægri.

Í Monte Carlo greiningu á óvissu er gert ráð fyrir að allir verkþættir séu óháðir hver öðrum. Það er auðvitað ekki raunin því er oft er samvirkni milli ýmissa þátta eins og áður hefur verið fjallað um. Hægt er að taka tillit til þessa með því að skilgreina samvirknina í greiningunni. Betra er þó að slá saman

skyldum liðum sem eru háðir. Til að skoða hvort marktækur munur sé á milli einingarverða svipaðra þátta er notuð svokölluð ferkaggreining sem fjallað er um í næsta kafla.

Magn:

Fengin var útskrift af uppgjöri verka á vegum Vegagerðarinnar á 5 ára tímabili, 2007-2011. Sömu gögn voru notuð í greiningu á vegum Vegagerðarinnar árið 2014.¹² Í þeirri greiningu var skoðað hve mikið var greitt umfram áætlun á heildina litið en einnig var farið sérstaklega yfir kafla og verkþætti sem mest áhrifa höfðu á greiðslu vegna verkframkvæmda. Einnig var farið ítarlega yfir tvær framkvæmdir þar sem breytingar í verkinu voru greindar nánar. Niðurstöður sýndu að helstu magnaukningar fólust í bergskeringum og fyllingum.

Í skýrslunni var ekki aðeins horft til aukinna greiðsla vegna magnaukningar heldur einnig aukinna greiðsla vegna viðbótarverka en í þessari rannsóknarskýrslu er aðeins unnið með breytingu á kostnaði fyrir hvern verkþátt sem fólst í magnbreytingum, þ.e. frá áætluðum verktakakostnaði í heildarkostnað með magnaukningu við uppgjör. Ekki er því um að ræða magnaukningar sem felast í viðbótarverkum. Út frá þessum upplýsingum var reiknið út hlutfall endanlegs magns miðað við upprunalegt áætlað magn. Við úrvinnslu gagna um magn er öllum svipuðum verkliðum splæst saman þar sem magn er síður háð einstaka verklið eins og einingarverðið. Ekki er lagt mat á marktækan mun með ferkaggreiningu.

Tekið er fram að áætlað magn sem er til skoðunar er samkvæmt áætlun sem byggir á verkhönnun. Það má áætla að óvissa og breytileiki sé meiri á fyrri stigum hönnunar og þar að leiðandi væri hægt að búast við meiri dreifingu.

Fyrir bæði einingarverð og magn er gerð tilraun til að áætla líklega dreifingu. Líklegasta gildið er þannig valið sem topppunktur þríhyrningsins og armar þríhyrningsins dregnir þannig að flatarmál hvorrar hliðar jafngildi líkum á því að raunverulegt gildi sé fyrir ofan eða neðan líklegasta gildi og því er ekki um að ræða lægsta og hæsta gildi úr greiningunni. Þannig er gert ráð fyrir því að dreifingarnar samsvari einfaldri þríhyrningsdreifingu.

4.2.3 Ferkaggreining

Áður en farið var í útreikninga á ákveðnum þáttum var fyrst athugað hvort tveir eða fleiri hópar séu tölfræðilega nógu líkir til að hægt væri að taka hópana saman í eitt safn. Við þessa athugun var notuð aðferð sem nefnist einhliða ferkaggreining (one-sided ANOVA), þessi aðferð gengur út á að bera saman breytileika á gildum mælinga milli hópa annars vegar og innan hópa hins vegar. Út frá því er svo hægt að álykta hvort meðaltölin séu ólík eða ekki. Gert er ráð fyrir að úrtökin séu slembiúrtök fyrir ferkaggreininguna og að þau séu valin úr þýðum sem hafa normaldreifingu og að dreifingin sé sú sama í öllum þýðum.

Núlltilgátan sem við viljum skoða er almennt

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

¹² Björn Eyþór Benediktsson. Verkframkvæmdir 2007-2011: Greining áhættuþátta, krífiskir verkþættir og utanaðkomandi breytur. Vegagerðin, 2014.

Á móti gagntilgátunni

$$H_1: Að minnsta kosti eitt meðaltal er frábrugðið hinum$$

Næst eru fervikasummurnar reiknaðar bæði milli hópa, innan hópa og svo heildar fervikasumman. Með fervikasummunum og fjölda frígráða (degree-of-freedom) fyrir hverja fervikasummu fyrir sig. Meðalfervikasummur eru reiknaðar sem :

$$MS = \text{Meðalfervikasumma} = \frac{\text{fervikasumma}}{\text{frígráða}}$$

Til að athuga hvort núlltilgátan standi finnum við prófstærðina:

$$F = \frac{MS_{\text{Milli hópa}}}{MS_{\text{Innan hópa}}}$$

Ef prófstærðin lendir á höfnunarsvæði þá höfnum við núlltilgátunni. Höfnunarsvæðið er ákvarðað með F-töflu með gildið $F_{1-\alpha, (a-1, N-a)} = F_{\text{crit}}$, við notum $\alpha = 0,05$. Hafna skal H_0 ef $F > F_{1-\alpha, (a-1, N-a)}$, sem táknar að a.m.k eitt meðaltalanna er frábrugðið hinum. Önnur athugun sem gerð er á sama tíma er athugun á p-gildi, p-gildi eru líkurnar á því að fá jafn ósennilega niðurstöðu eða ósennilegri og fengin er ef núlltilgátan er sönn. Hafna skal H_0 sé p-gildið minna en α . Sé p-gildið stærra en α er ekki hægt að hafna núlltilgátunni.

Sem dæmi athugum við nokkra hópa fyrir mót við brúargerð. Athugum hvort meðaltölin fyrir hvern hóp séu það lík að hægt sé að skeyta þeim gögnum saman í greiningunni. Skoðum flokkanna: mót plötubrúa, mót bitabrúa, mót landstöpla með steyptri akbraut, mót sökklá og mót stoðveggja. Niðurstöðurnar eru í eftirfarandi töflu.

TAFLA 3 Niðurstöður á greiningu á marktækni mismunar á einingarverðum fyrir mót.

SUMMARY						
Groups	Count	Sum	Average	Variance		
Mót plötubrúa 84.251	11	324171,3	29470,12	32849085		
Mót bitabrúa 84.253	4	114748	28687	1,11E+08		
Mót stöpla með steyptri akbraut 84.24	7	203214	29030,57	48727326		
Mót sökklá 84.21	32	978208,6	30569,02	61357213		
Mót stoðveggja 84.22	9	269907,9	29989,77	64734718		
ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	26923927	4	6730982	0,115754	0,976443	2,530694
Within Groups	3,37E+09	58	58149122			
Total	3,4E+09	62				

Þar sem $F < F_{\text{crit}}$ og P-gildið $> \alpha_{0,05}$ þá getum við haldið okkur við núlltilgátuna að $\mu_{\text{plötubrúa}} = \mu_{\text{bitabrúa}} = \mu_{\text{landstöpla}} = \mu_{\text{sökklá}} = \mu_{\text{stoðveggja}}$ og var því þessum hópum skeytt saman við greiningu.

Athuga ber í þessu sambandi að fervikagreiningin tekur ekki tillit til tveggja þátta sem hafa eflaust áhrif á niðurstöðurnar:

- Magn verkþáttar á bak við einingaverðið
- Fjarlægð mannvirkis frá höfuðborgarsvæðinu eða öðru þéttbýli

Niðurstöður úr ferveikagreiningunni fyrir ýmsa skilda verkþætti eru í eftirfarandi töflu ásamt athugasemdum:

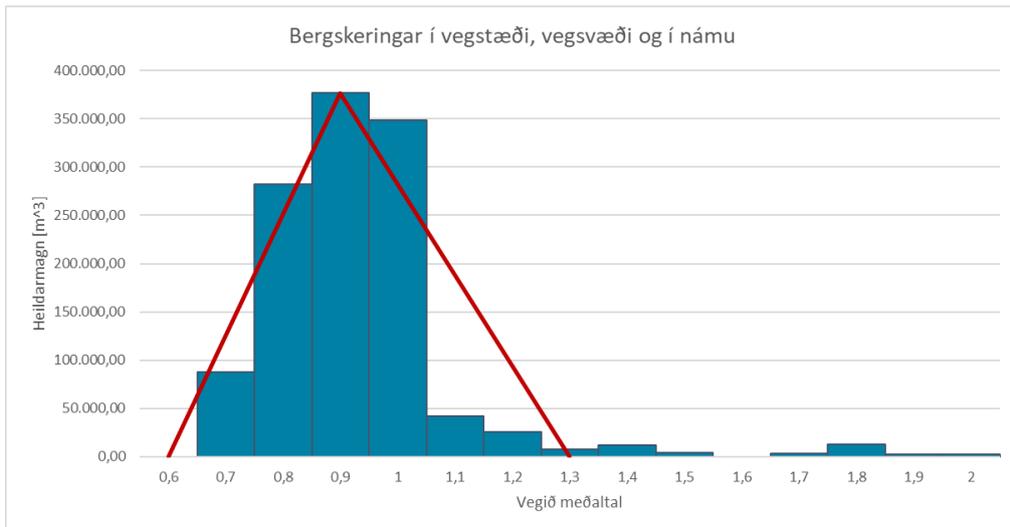
TAFLA 4 Niðurstöður ferveikagreiningar á meðaltölum valinna verkþátta.

Verkþáttur	Númer	Athugasemdir
Mót	84.21, 84.22, 84.23, 84.24, 84.251, 84.253	Eins og kemur fram í sýnidæminu að ofan er ekki marktækur munur á einingarverðum fyrir mót þegar þessir 5 þættir eru teknir saman. Hins vegar ef mót stöpla (84.23) eru tekin með þá fellur prófið. Þess ber einnig að geta að fjöldi bitabréa er lítil (4).
Steypa	84.41, 84.42, 84.43, 84.45	Verð á steypu greinist í tvennt. Ekki reyndist marktækur munur á verði í sökkla (84.41) og stoðveggi (84.42) annars vegar og svo stöplum (84.43) og yfirbyggingu (84.45) hins vegar. En marktækur munur á milli þessara hópa.
Járnalögn	84.311, 84.312, 84.313, 84.315	Fyrir járnalögn er marktækur munur á verði á járnalögn í stoðveggi (84.312) miðað við aðra járnalögn. Stoðveggirnir eru flestir í Ölfusi og tengjast einu verki.
Bergskering	22.1, 32.1, 32.2	Enginn marktækur munur kom fram á verði í bergskeringar, hvort sem er í vegstæði, vegsvæði eða í námu.

4.3 Niðurstöður greiningar

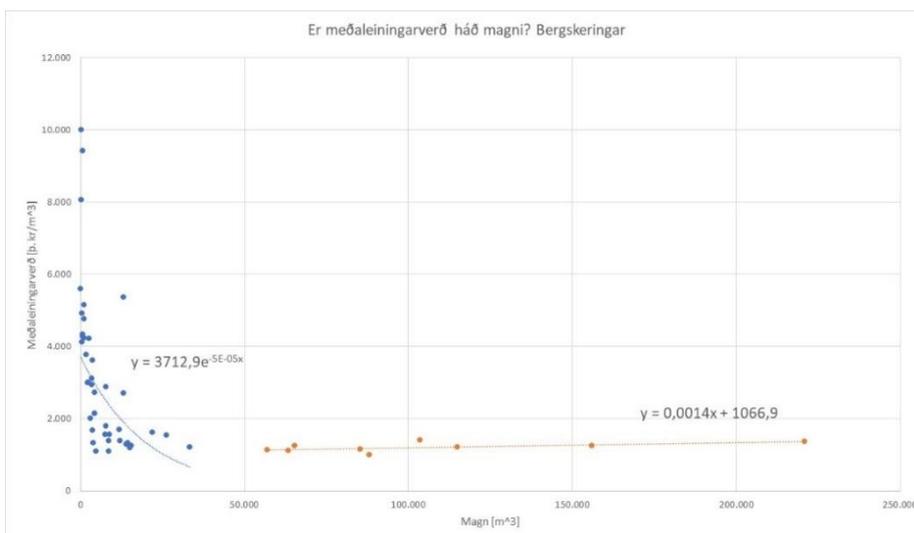
4.3.1 Bergskeringar

Eins og kom fram í síðasta kafla þá er ekki marktækur munur á verði í bergskeringa eftir því hvar þær eru í verkinu. Eins og við er að búast þá er líklegasta gildi fyrir einingarverð fyrir neðan vegið meðaltal tilboða þar sem dreifingin er skökk til hægri. Hér er það um 0,9 x vegið meðaltal tilboða.



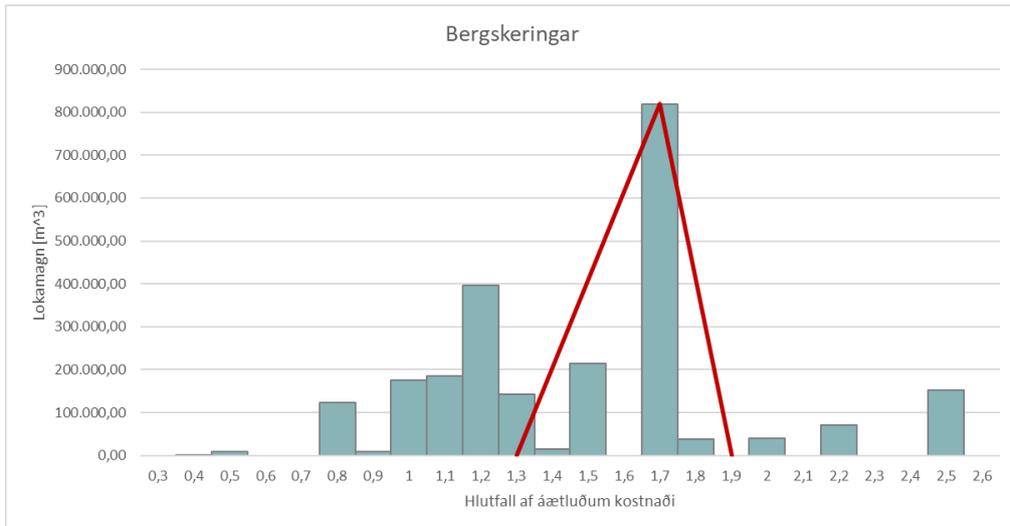
MYND 11 Dreifing á kvörðuðu einingarverði fyrir bergskeringar (22.1, 32.1, 32.2).

Þó ekki sé marktækur munur á verði í bergskeringa eftir því hvar þær eru í verkinu er verðið hins vegar mjög háð stærð verksins eins og sjá má á grafinu að neðan. Verðið er hátt fyrir lítið magn en fyrir meira magn en um 30.000 m³ virðist það óháð magni. Línan á grafinu er fengin með aðfallsgreiningu. Hallatala línunnar fyrir meira magn en 30.000 m³ er ekki marktækt frábrugðin núlli í tölfræðilegu prófi.



MYND 12 Samband á meðalverði og magns fyrir bergskeringar.

Þegar niðurstöðurnar fyrir magn eru skoðaðar má sjá að magnaukning hefur tilhneigingu til að fara töluvert fram úr áætlun en líklegasta gildið sýnir 70% aukningu miðað við áætlun. Það má því áætla að í þeim verkum sem tekin eru fyrir hér hafi verið um mikið vanmat á magni bergskeringa að ræða og niðurstöður dreifingarinnar gefa líklega ekki rétta mynd á raunverulegri dreifingu.



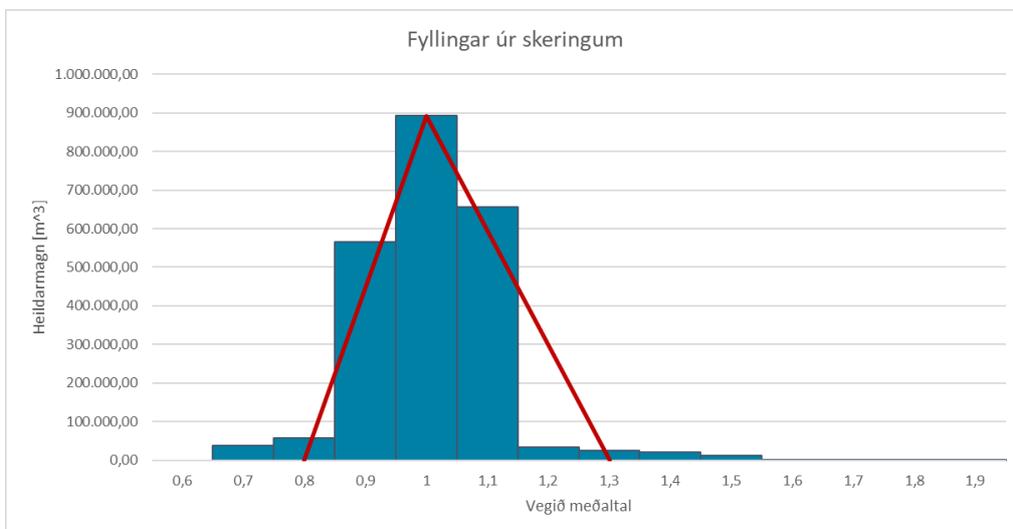
MYND 13 Dreifing á magni fyrir bergskeringar.

4.3.2 Fyllingar

Hér er einungis sýnt sýnishorn af greiningu einingarverða fyrir fyllingar. Fyllingar koma fyrir í ýmsum liðum svo sem:

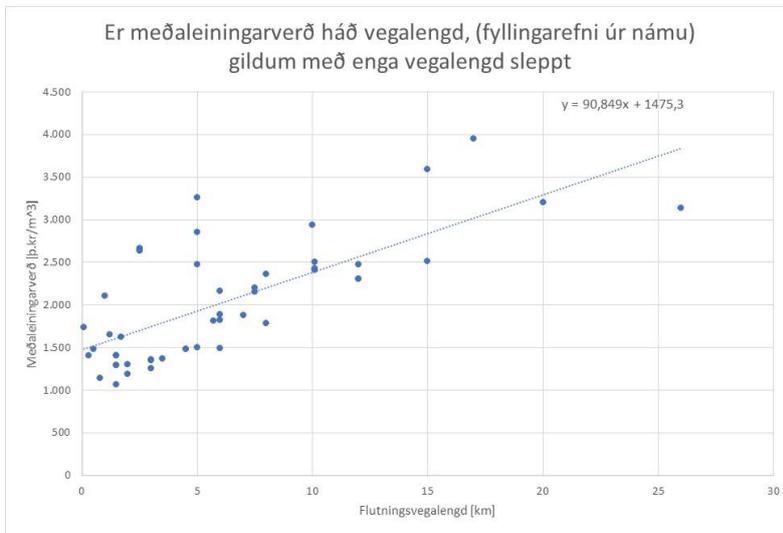
- Fyllingarefni úr skeringum (33.1)
- Fyllingarefni úr bergskeringum (33.14)
- Fyllingarefni úr námum (33.2)
- Fláafleygar, efni úr skeringum (34.1, 34.11)
- Fláafleygar, efni úr námum (34.12)
- Ónothæfu efni jafnað á losunarstað (34.8)

Fyrir einingarverð er hér sýnt graf fyrir fyllingar úr skeringum. Hér er líklegasta gildi fyrir einingarverð jafngilt vegnu meðaltali tilboða.



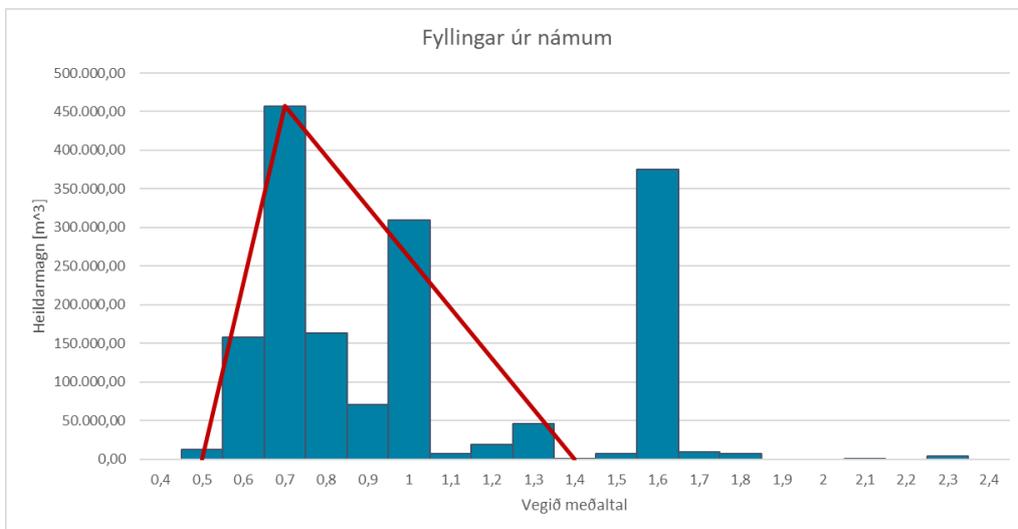
MYND 14 Dreifing á kvörðuðu einingarverði fyrir fyllingar úr skeringum.

Einnig var skoðað einingarverð fyrir fyllingar úr námum. Einingarverðið er samsett úr föstum kostnaði og kostnaði við akstur sem er háður akstursfjarlægð. Á grafinu hér að neðan kemur fram að fasti kostnaðurinn er 1474 kr./m³ og viðbótarkostnaðurinn er 91 kr./km/m³.



MYND 15 Samband einingarverðs og akstursfjarlægðar í námu.

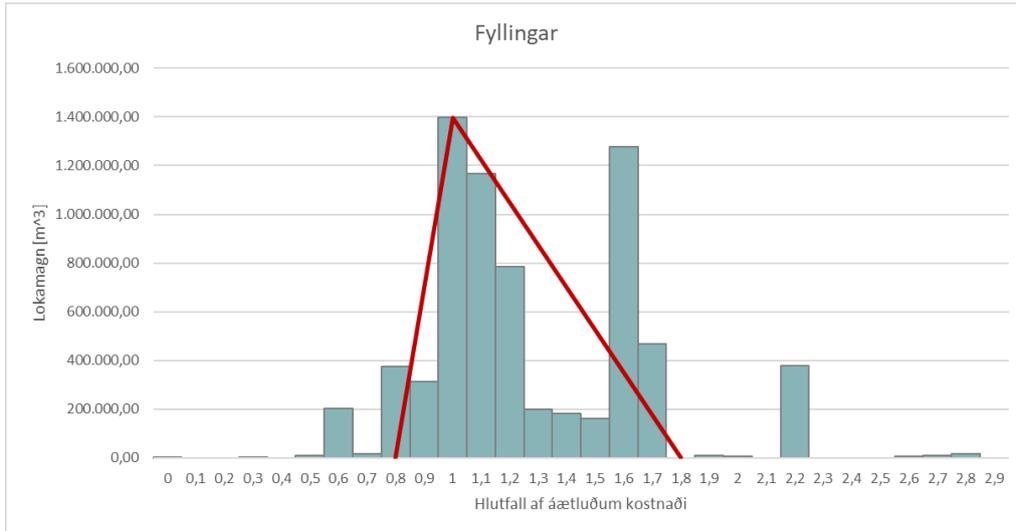
Með því að gera ráð fyrir viðbótarkostnaði uppá 91 kr./km/m³ fyrir hvern ekinn kílómetra og draga hann frá einingarverði í einstök verk fæst eftirfarandi dreifing.



MYND 16 Dreifing á kvörðuðu einingarverði fyrir fyllingar úr námum – Dreginn er frá áætlaður kostnaður vegna flutninga.

Myndin gefur ágæta mynd af dreifingunni þegar staðsetning á námum í verki er ekki þekkt eins og oft er á fyrstu stigum áætlanagerðar. Þessi eiginleiki einingarverða fyrir fyllingar á við um alla liði efnisflutninga í vegagerð sem eru allir stærstu vegagerðarliðirnir; fyllingar, styrktarlag og burðarlag. Hægt væri því að leggjast í frekari greiningu á þessum liðum.

Þegar niðurstöðurnar fyrir magn eru skoðaðar má sjá að magn fyllinga hefur frekar tilhneigingu til að fara fram úr áætlun en líklegasta gildið sýnir þó upphaflega áætlað magn þó stór hluti fari um 60% fram úr áætlun. Ekki er gerður greinarmunur á fyllingarefnum úr skeringum, bergskeringum eða úr námu.

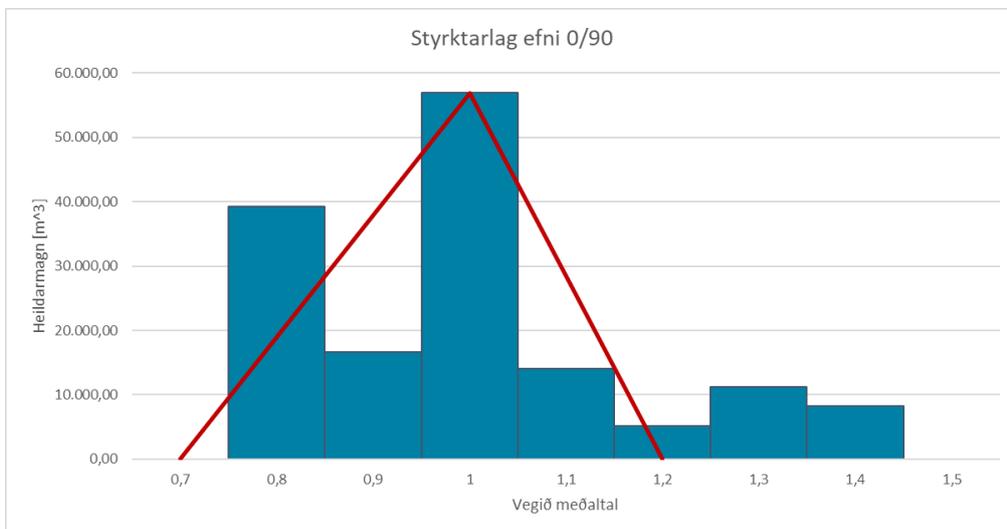


MYND 17 Dreifing á magni fyrir bergskeringar.

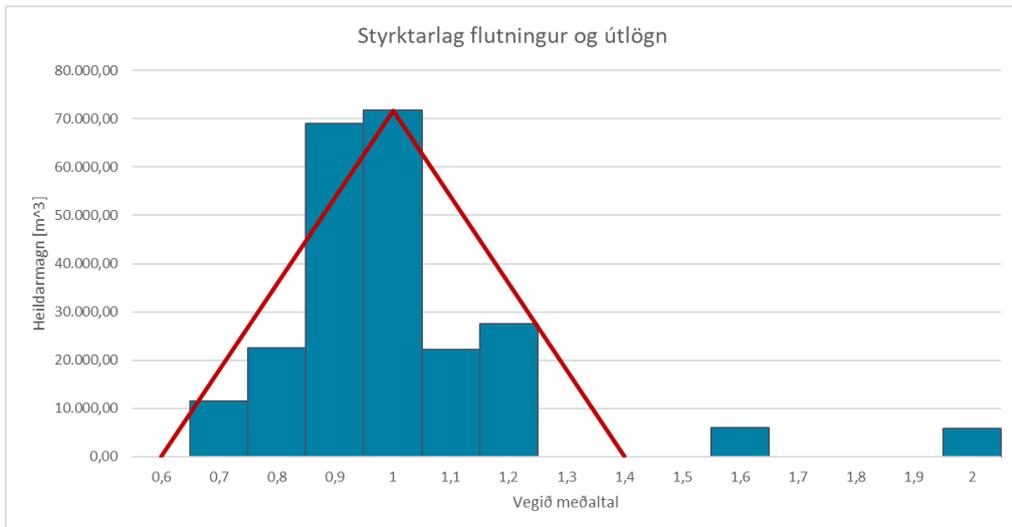
4.3.3 Styrktarlag

Sömu athugasemdir eiga við hér eins og í kaflanum hér að ofan varðandi fjarlægð í námu.

Fyrri myndin sýnir dreifingu á verðum í efnisvinnslu (52.2113) sem er óháð akstursvegalegd. Seinni myndin sýnir dreifingu á verðum fyrir akstur og útlögn (52.22) þar sem ekki er tekið tillit til akstursvegalegdar. Að vonum verður dreifingin mjög mikil í slíku tilfalli.

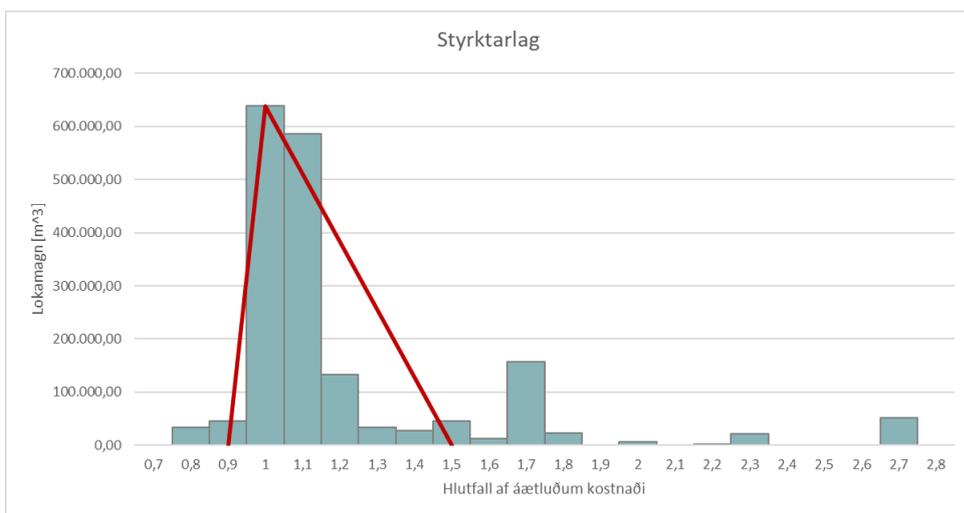


MYND 18 Dreifing einingarverða fyrir styrktarlag - efnisvinnsla



MYND 19 Dreifing einingarverða fyrir styrktarlag – flutningur og útlögn.

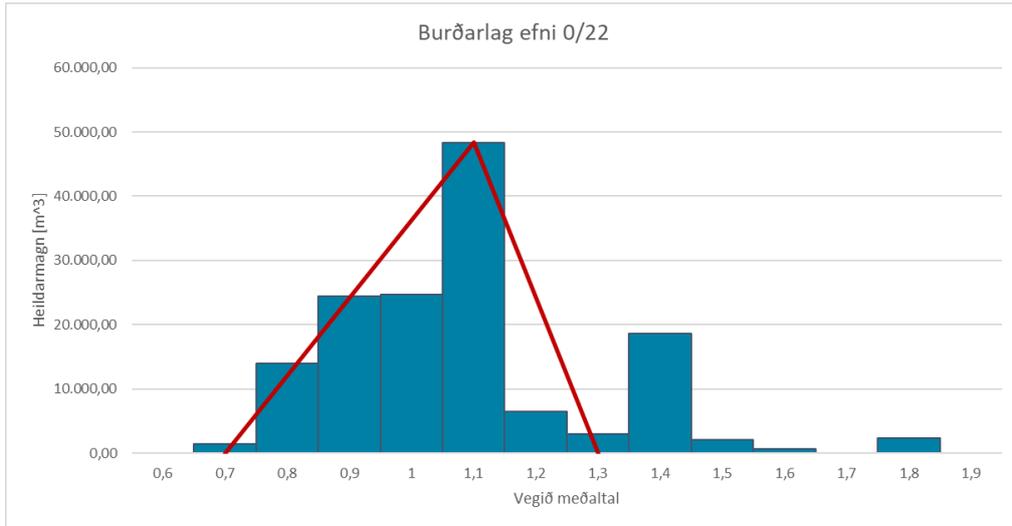
Pegar niðurstöðurnar fyrir magn eru skoðaðar má sjá að magn styrktarlags hefur frekar tilhneigingu til að fara fram úr áætlun en líklegasta gildið sýnir þó upphaflega áætlað magn.



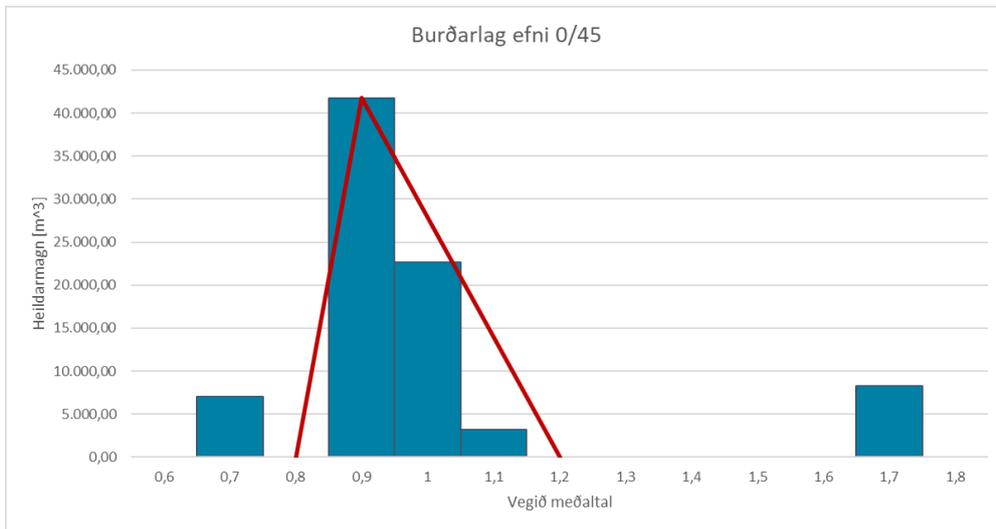
MYND 20 Dreifing á magni fyrir styrktarlag.

4.3.4 Burðarlag

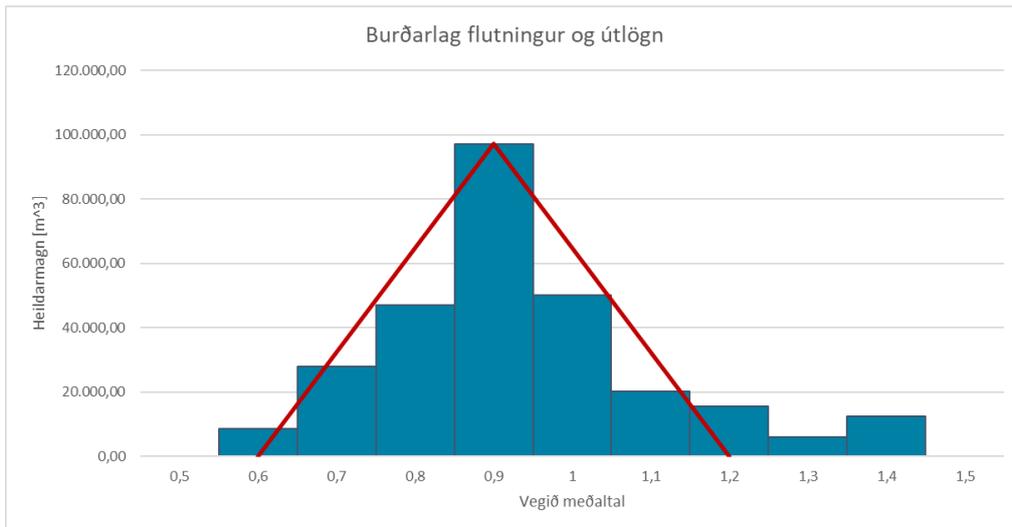
Efnisvinnsla burðarlags er óháð akstursvegalengd. Gröfin hér sýna dreifingu verðs á mismunandi efnisstærðum í burðarlag. Frekari vinna gæti falið í sér að athuga hvernig stendur á verði sem er mjög langt frá meðaltali og einnig hvort marktækur munur sé á verði eftir efnisstærðum. Þar sem dreifingarnar eru skakkar er líklegasta gildi fyrir einingarverð fyrir ofan eða neðan vegið meðaltal tilboða.



MYND 21 Dreifing verðs fyrir efnisvinnslu burðarlags.

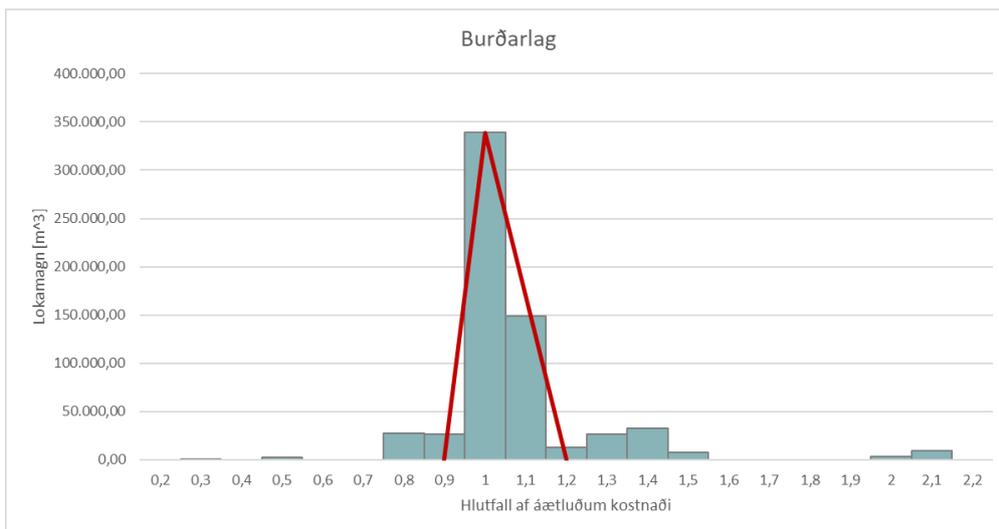


MYND 22 Dreifing verðs fyrir efnisvinnslu burðarlags.



MYND 23 Dreifing verðs í flutning og útlögn burðarlags. Ekki er tekið tillit til akstursvegalengdar.

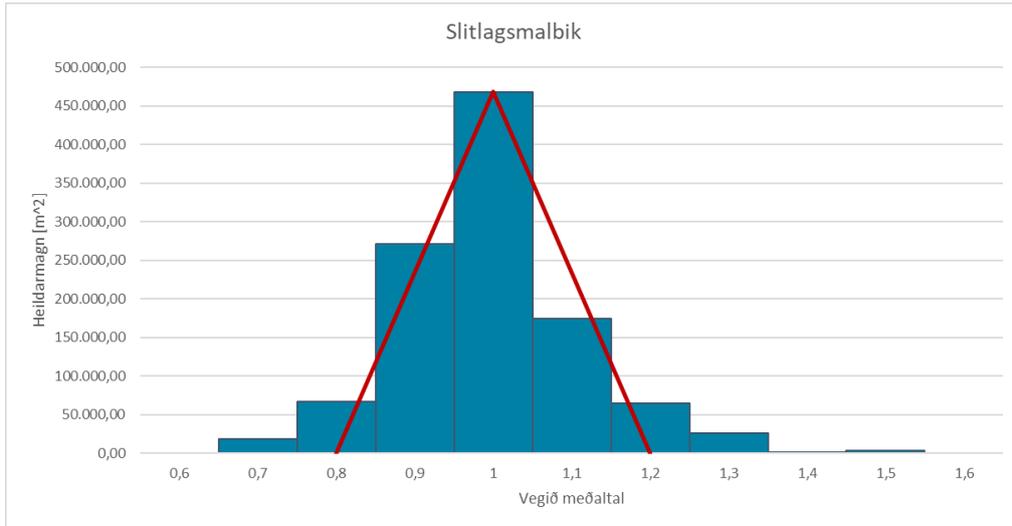
Þegar niðurstöðurnar fyrir magn eru skoðaðar má sjá að magn burðarlags hefur frekar tilhneigingu til að fara fram úr áætlun en líklegasta gildið sýnir þó upphaflega áætlað magn.



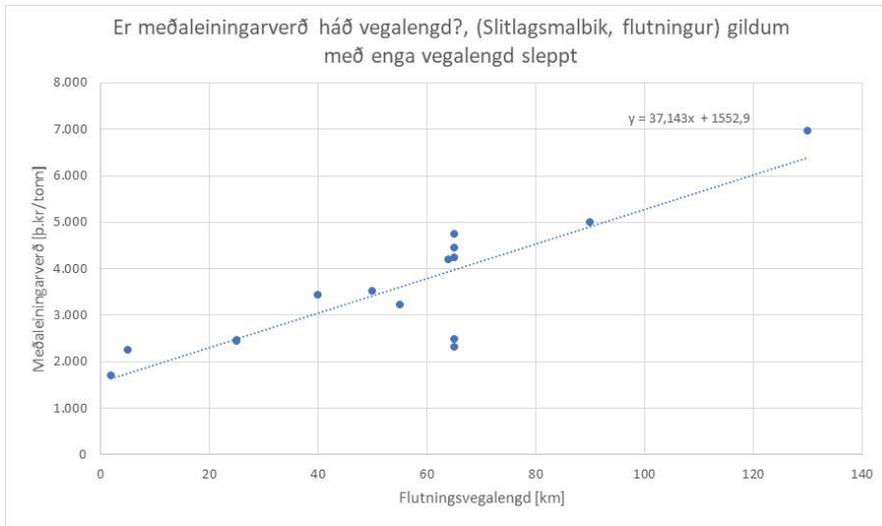
MYND 24 Dreifing á magni fyrir burðarlag.

4.3.5 Malbik

Dreifingin á verði á malbiki tekur ekki tillit til þykktar og þess vegna verður dreifingin mjög víð. Vandinn er að í gögnum er þykktar ekki alltaf getið, sérstaklega ekki í yfirlögnum.

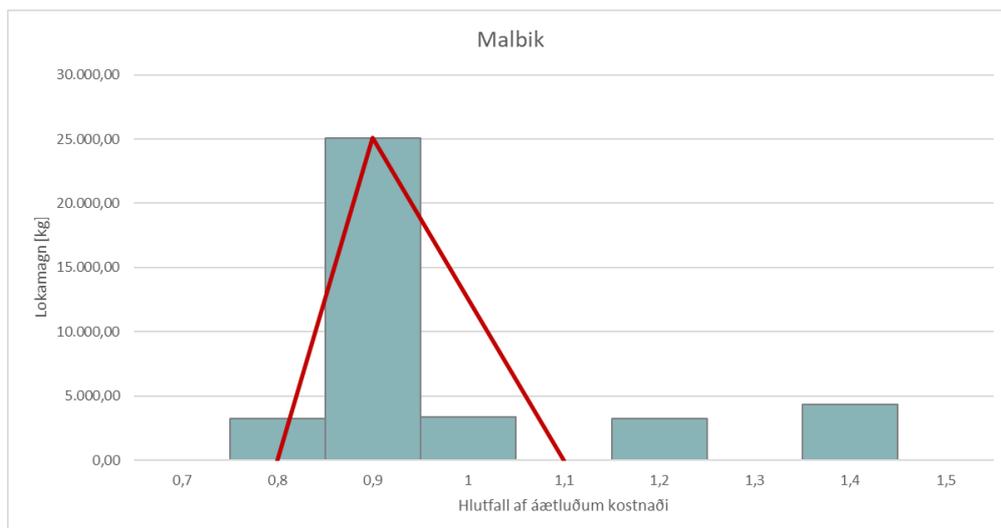


MYND 25 Dreifing á verði slitlagsmalbiks.



MYND 26 Verð í flutning á malbiki eftir flutningsvegalengd. Fastur kostnaður virðist vera um 1550 kr./tonn en breytilegi kostnaðurinn um 37 kr./tonn/km.

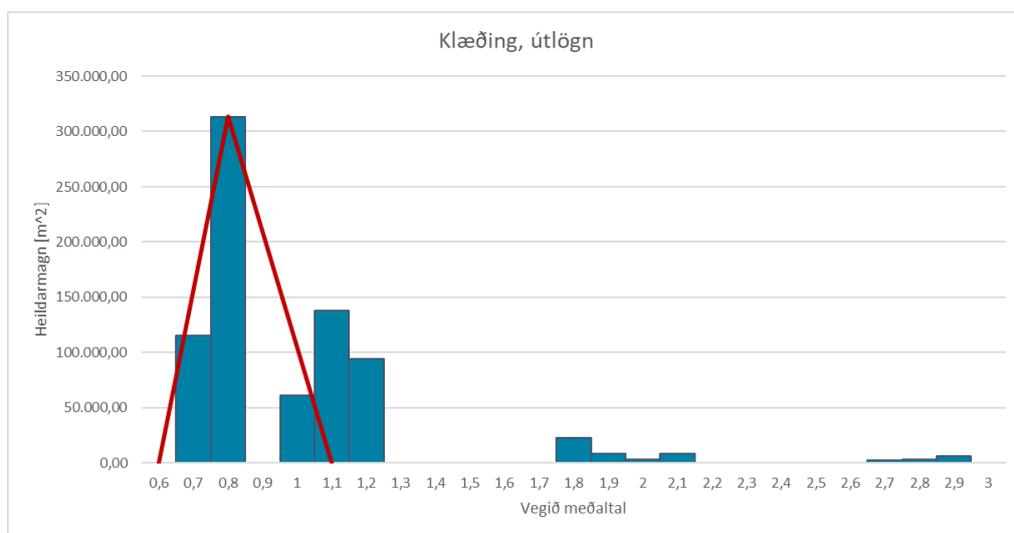
Þegar niðurstöðurnar fyrir magn eru skoðaðar má sjá að magn malbiks hefur frekar tilhneigingu til að vera undir áætlun en líklegasta gildið er um 90% af upphaflega áætluðu magni. Ástæðuna hér má helst rekja til þess að uppgjör tiltölulega fárra verka voru til skoðunar og því ætti að taka þessum niðurstöðum með fyrirvara.



MYND 27 Dreifing á magni fyrir malbik.

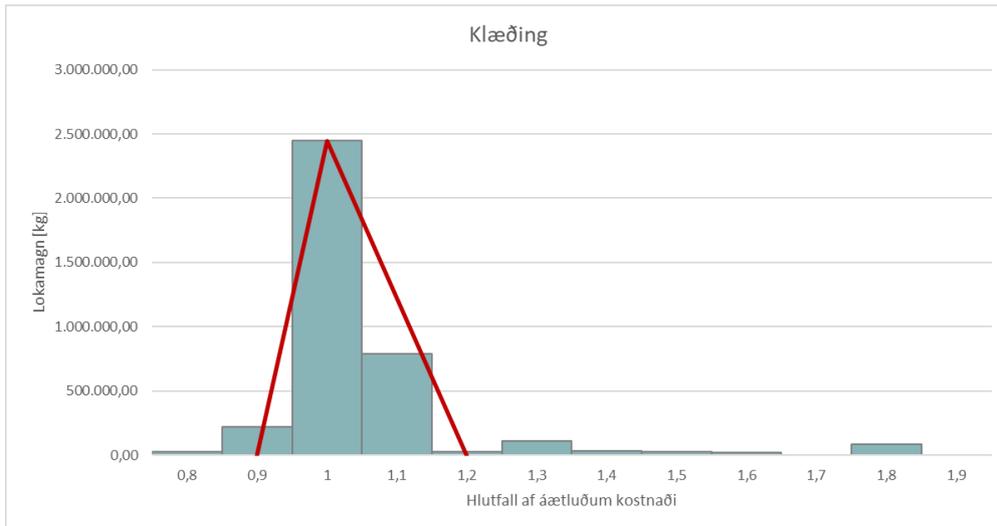
4.3.6 Klæðing

Undir klæðingu eru fjölmargir verkþættir og er einungis sýnt dæmi um niðurstöður greiningar á einingarverði fyrir útlögn klæðingar í nýlögn (62.12).



MYND 28 Dreifing á verði í nýlögn klæðingar.

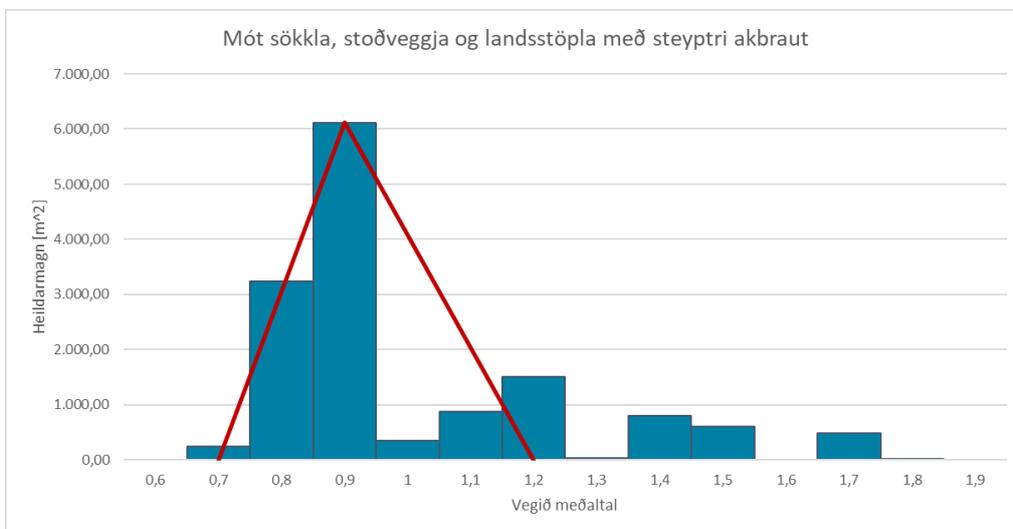
Þegar niðurstöðurnar fyrir magn eru skoðaðar má sjá að magn klæðingar hefur frekar tilhneigingu til að fara fram úr áætlun en líklegasta gildið sýnir þó upphaflega áætlað magn. Ekki er gerður greinarmunur á ólíkum verkþáttum fyrir klæðingu.



MYND 29 Dreifing á magni fyrir klæðingu.

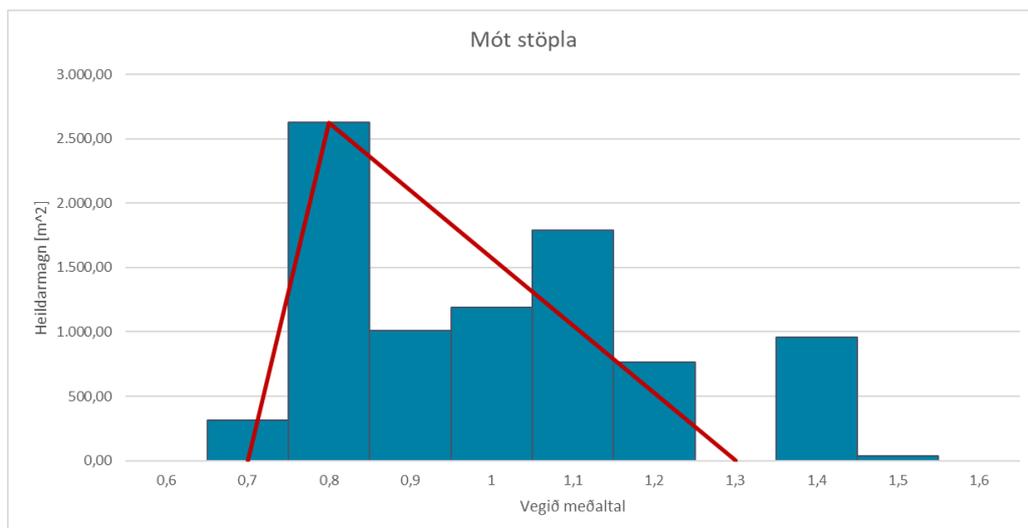
4.3.7 Mót

Áður hefur verið fjallað um mun á einingarverði fyrir mót. Í tölfræðilegri greiningu kom fram marktækur munur á mótaverði fyrir stöpla en ekki á verði fyrir aðra verkþætti. Eins og fram kemur á gröfunum hér að neðan er dreifing mikil, bæði fyrir stöpla og fyrir aðra hluti.

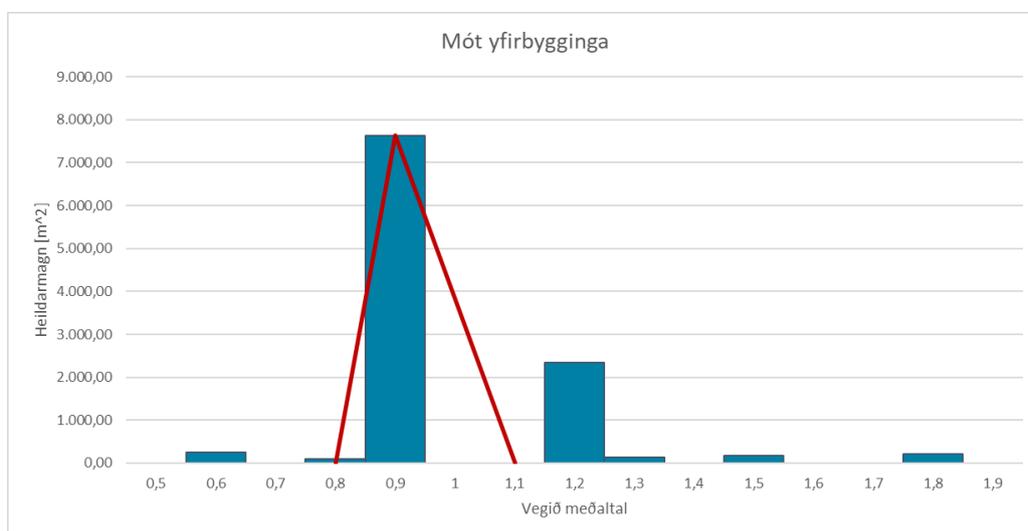


MYND 30 Dreifing á einingarverði fyrir mót.

Ein skýring er að ekki er tekið tillit til staðsetningar verksins á landinu. Til greina kemur að skoða verð með tilliti til fjarlægðar frá þéttbýli, en ekki er víst að úrtakið sé nægilega stórt til að fá fram marktækt samband.

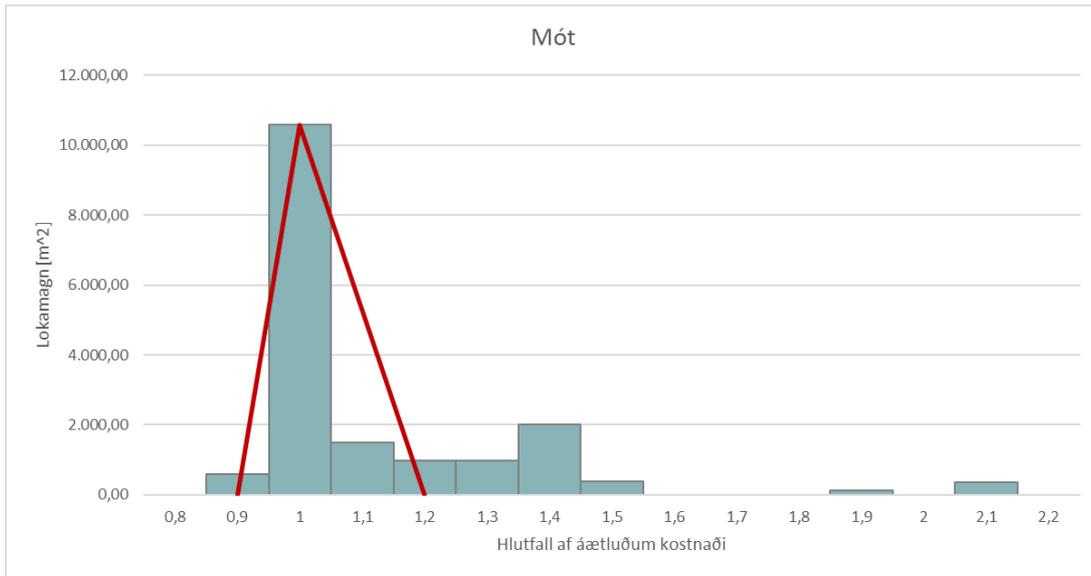


MYND 31 Dreifing á einingarverði fyrir mót stöpla.



MYND 32 Dreifing á einingarverði fyrir mót yfirbygginga.

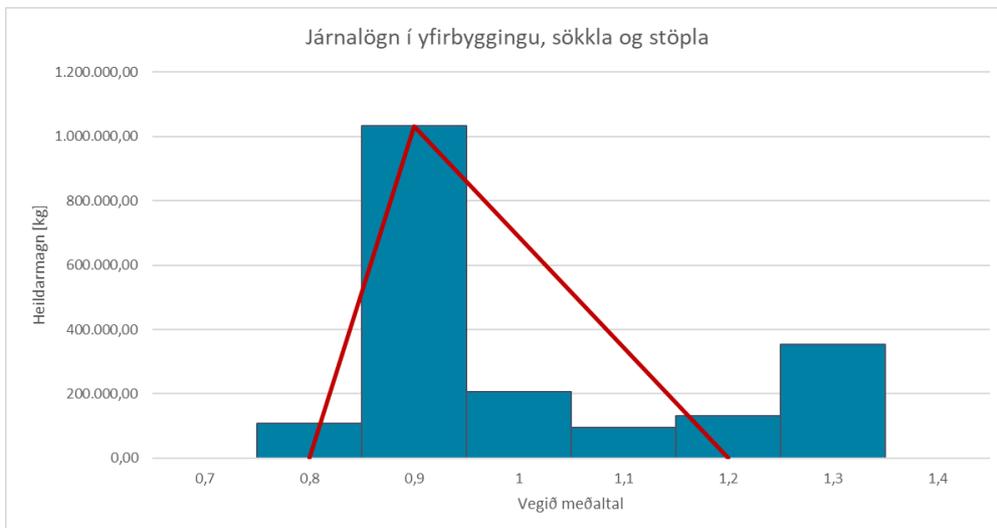
Þegar niðurstöðurnar fyrir magn eru skoðaðar má sjá að magn móta hefur frekar tilhneigingu til að fara fram úr áætlun en líklegasta gildið sýnir þó upphaflega áætlað magn. Ekki er gerður greinarmunur á mismunandi verkþáttum fyrir mót.



MYND 33 Dreifing á magni fyrir mót.

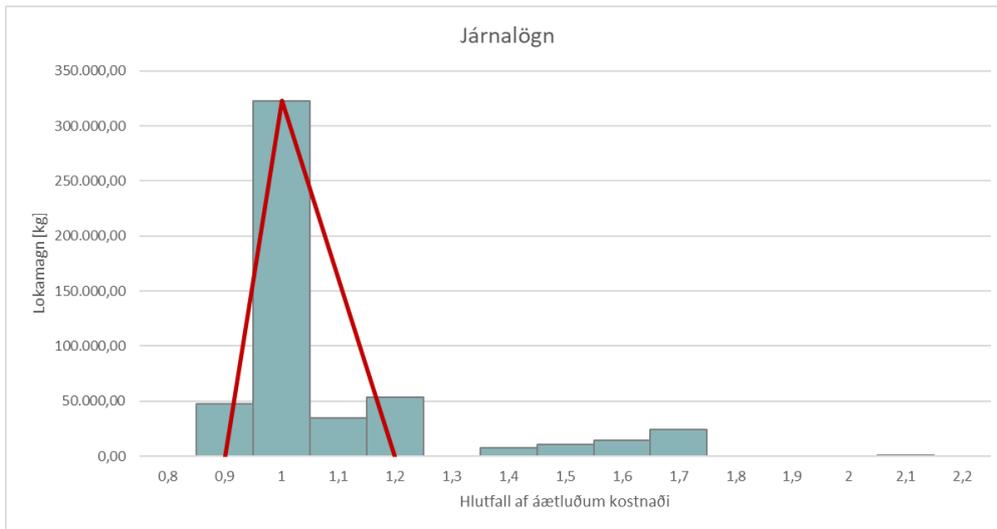
4.3.8 Járnalögn

Enginn marktækur munur kom fram á einingarverðum í járnalögn. Stoðveggir skáru sig þó úr, en líklegt er að staðsetning þeirra hafi meira með verð á gera, en þeir voru allir í nágrenni við þéttbýli og því ódýrari en önnur járnalögn.



MYND 34 Dreifing á einingarverði fyrir járnalögn í yfirbyggingu, sökkla og stöpla.

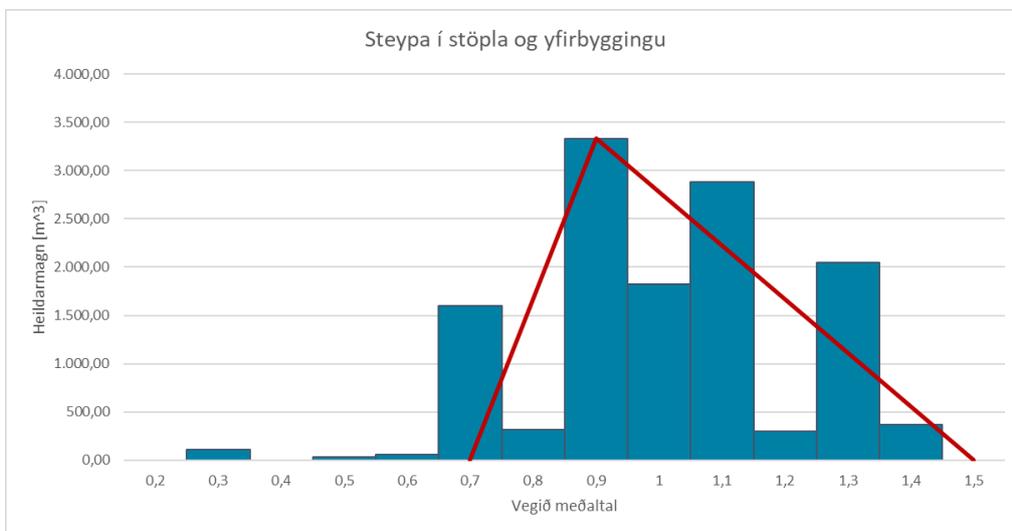
Þegar niðurstöðurnar fyrir magn eru skoðaðar má sjá að magn járnalagnar hefur frekar tilhneigingu til að fara fram úr áætlun en líklegasta gildið sýnir þó upphaflega áætlað magn. Ekki er gerður greinarmunur á mismunandi verkþáttum fyrir járnalögn.



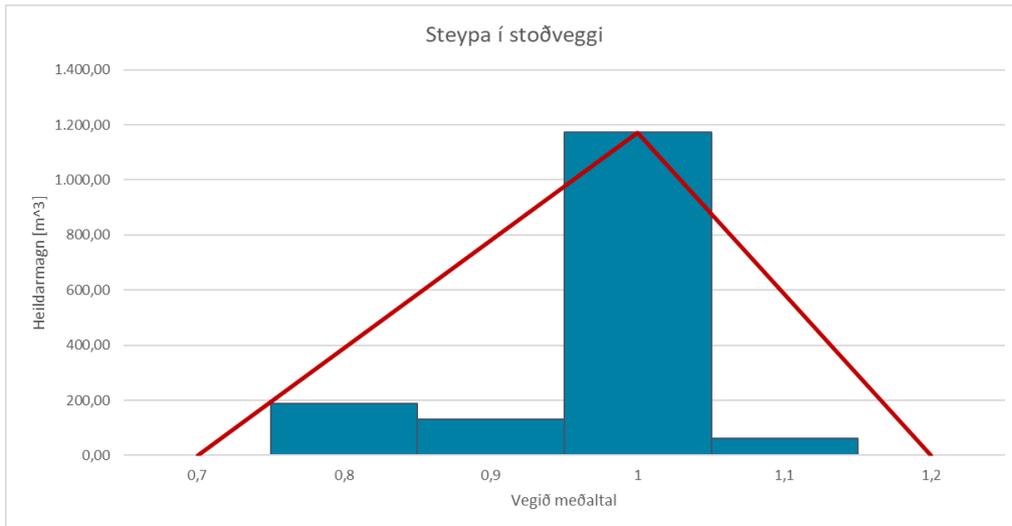
MYND 35 Dreifing á magni fyrir járnalögn.

4.3.9 Steypa

Einingarverð í steypu skiptust í tvennt. Sökklar og stoðveggir voru markvert öðruvísi en stöplar og yfirbygging. Aftur skera stoðveggir sig úr, líklega af sömu ástæðu og áður. Verð á steypu er líklega háð fjarlægð frá næstu steypustöð en ekki reyndist hægt að greina áhrifin vegna þess að talnasafnið er takmarkað.

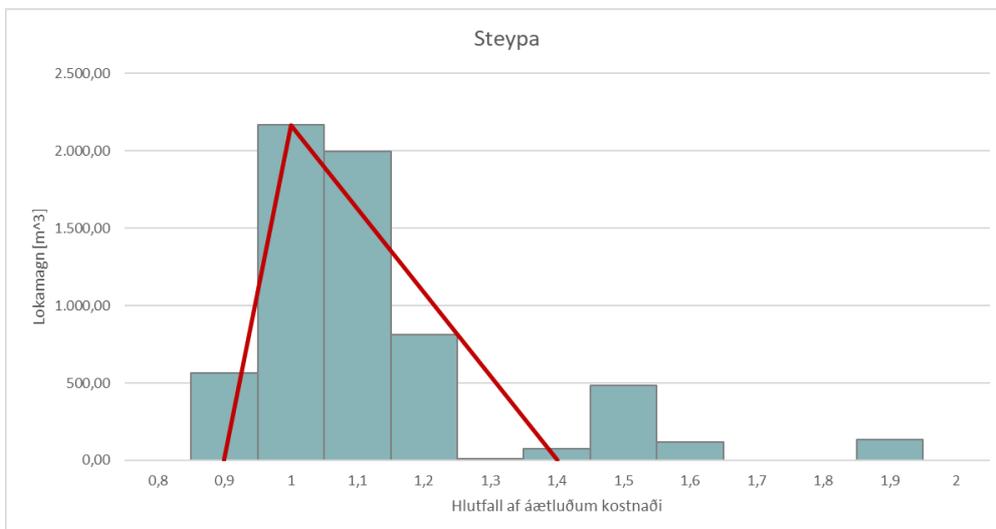


MYND 36 Dreifing á einingarverði fyrir steypu í stöpla og yfirbyggingu.



MYND 37 Dreifing á einingarverði fyrir steypu í stoðveggi.

Þegar niðurstöðurnar fyrir magn eru skoðaðar má sjá að magn steypu hefur frekar tilhneigingu til að fara fram úr áætlun en líklegasta gildið sýnir þó upphaflega áætlað magn. Ekki er gerður greinarmunur á mismunandi verkþáttum fyrir steypu.



MYND 38 Dreifing á magni fyrir steypu.

4.4 Samantekt

Í eftirfarandi töflu eru teknar saman tillögur að dreifingu fyrir magn og einingarverð ýmissa verkþátta.

VERKÞÁTTUR	EININGARVERÐ			MAGN		
	Efri mörk	Líklegasta gildi	Neðri mörk	Efri mörk	Líklegasta gildi	Efri mörk
Bergskeringar	60%	90%	125%	130%	170%	190%
Fyllingar úr skeringum	75%	100%	125%	75%	100%	180%
Fyllingar úr námum	55%	70%	125%	75%	100%	180%

VERKÞÁTTUR	EININGARVERÐ			MAGN		
Styrktarlag, efni	70%	100%	125%	90%	100%	145%
Styrktarlag, flutningar og útlögn	60%	100%	125%	90%	100%	145%
Burðarlag, efni	75%	110/90%	135/115%	85%	100%	125%
Burðarlag, flutningar og útlögn	65%	90%	125%	85%	100%	125%
Slitlagsmalbik	75%	100%	120%	75%	90%	110%
Klæðing, útlögn	65%	80%	110%	85%	100%	120%
Mót sökkla, stoðvegja og landsstöpla	70%	90%	115%	90%	100%	120%
Mót stöpla	70%	80%	135%	90%	100%	120%
Mót yfirbygginga	80%	90%	105%	90%	100%	120%
Járnalögn	80%	90%	115%	85%	100%	120%
Steypa í stölpa og yfirbyggingu	65%	90%	145%	85%	100%	145%
Steypa í stoðveggi	85%	100%	110%	85%	100%	145%

5 FRAMHALD VERKEFNISINS

Í þessari skýrslu hefur verið fjallað um gerð kostnaðaráætlana eftir forskrift frá AACE í Ameríku og einnig hvernig áætlanir eru gerðar hjá norsku vegagerðinni, Statens vegvesen. Einnig er fjallað um tölfræðilega greiningu gagna úr Framkvæmdakerfi Vegagerðarinnar. Sú greining tekur til einingarverðs í tilboðum verktaka í verk Vegagerðarinnar á tímabilinu 2016-21 og uppgjors á verkum frá 2007-11.

Einnig eru settar fram tillögur að dreifingum á einingarverði og magni fyrir hina ýmsu verkþætti sem mest eru notaðir við vega- og brúargerð hér á landi. Úrvinnslan takmarkast við verkþætti sem algengir eru til þess að úrvinnslan sé marktæk. Fyrir aðra verkþætti verður að reiða sig á innsæi þeirra sem standa að kostnaðaráætluninni.

Frekari vinna gæti falið í sér bæði frekari vinnu við greiningu gagna en auk þess umfjöllum um þá þætti sem bæta má við gerð kostnaðaráætana. Má þar fyrst og fremst nefna að gera þarf kostnaðaráætlunum hærra undir höfði í undirbúningsvinnu verkefna. Gerð kostnaðaráætlana er einn veigamesti þáttur í undirbúningi verka. Við gerð þeirra er nauðsynlegt að farið sé yfir alla þætti verksins og óvissa og áhætta metin í hverjum áfanga allt frá fyrstu áætlunum til þeirra síðustu. Til þess að svo megi verða þarf að gefa undirbúningsteyminu tíma og aðstöðu til að vinna áætlunina eins og best verður á kosið.

