



Skýrsla nr. 03-12

HVS-Nordic – Íslensk þátttaka: Athugun á svörunarmælingum

Þórir Ingason

Unnið fyrir:

Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

Keldnaholti, IS-112 Reykjavík, sími 570 7300, fax 570 7311

Skýrsla nr:
Dreifing Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>

Rb/SfB 12 (L)

Heiti skýrslu: HVS-Nordic – Íslensk þáttaka – Athugun á svörunarmælingum	Dags: September 2003
Höfundur: Þórir Ingason	Fjöldi síðna: 60 + 14 í viðaukum
Deild: Vegtæknideild	Faglega ábyrgur: ÞI
Unnið fyrir: Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar.	Rannsóknarnúmer: V-9922
Úrdráttur: <p>Fyrri hluta ársins 2000 var gert hraðað álagspróf á íslensk veghlot í Svíþjóð. Annars vegar veghlot með óbundið burðarlag og hins vegar með efri hluta burðarlagsins bikbundinn. Við prófin var svörun (spennur, streitur, niðurbeygjur o.s.frv) veghlotanna mæld fyrir mismunandi álag og aðstæður. Þessi skýrsla fjallar um yfirferð þessara mælinga og ýmis konar skoðun á þeim.</p> <p>Þegar veghlotin sem prófuð voru eru borin saman, kemur í ljós að svörun í neðri hluta þeirra er svipuð, en mismunurinn kemur fram í efri hlutanum. Hönnunarforrit sem skoða spennur og streitur í yfirborði undirbyggingar myndu því komast að því að ending þeirra væri sú sama, ef þessi mældu gildi yrðu lögð til grundvallar. Hjólfaramyndun í köflunum var hins vegar mjög mismunandi og þar af leiðandi ending kaflanna. Af þessu má draga þá ályktun að ending kaflanna sem prófaðir voru í þessu verkefni, ræðst af efri hluta uppbyggingarinnar og aðallega efri hluta burðarlagsins.</p> <p>Sú skoðun gagnanna sem fjallað er um í þessari skýrslu, er aðeins dæmi, en ýmsir möguleikar eru á enn frekari skoðun þeirra. Stefnt er að því að koma gögnunum inn í sameiginlegan gagnagrunn Finna og Svía yfir niðurstöður hraðaðra álagsprófa.</p>	

3 lykilorð: Á íslensku

Á ensku

Hraðað álagspróf	Accelerated pavement test
Veghlot	Road construction
Svörunarmælingar	Response measurements

EFNISYFIRLIT

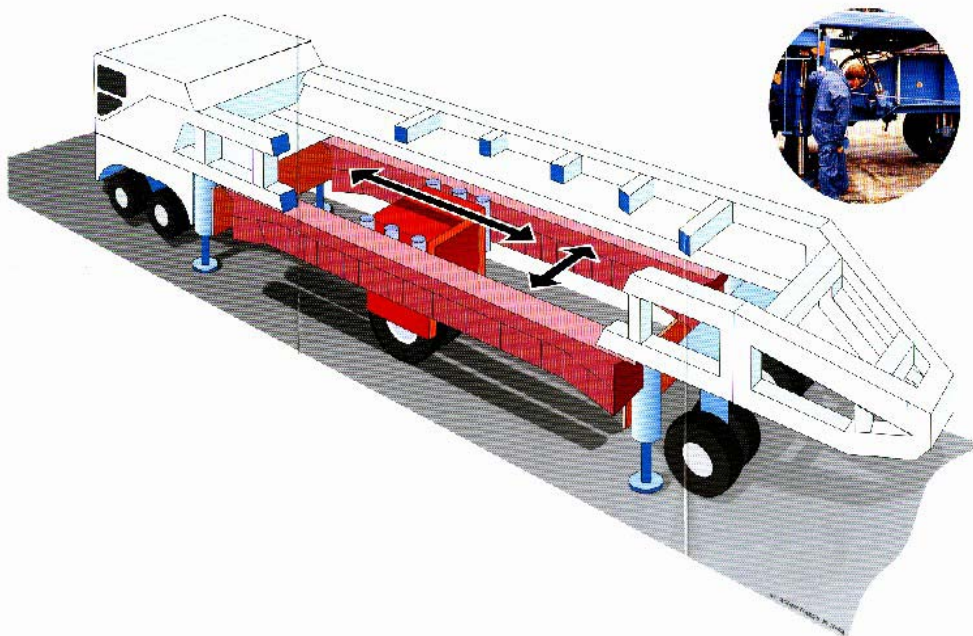
1. INNGANGUR	2
2. SVÖRUNARMÆLINGAR Á ÍSLENSKUM HVS-TILRAUNAKÖFLUM	4
2.1 STADSETNING SVÖRUNARMÆLA.....	4
2.2 SKRÁNING SVÖRUNAR.....	10
2.3 ÚRVINNSLA OG SKOÐUN GAGNA.....	12
3. YFIRFERÐ GAGNA OG DÆMI UM NIÐURSTÖÐUR	13
3.1 MÆLIGÖGN FRÁ VEGHLOTI: IS01	13
3.1.1 <i>Streitunemar í neðri brún bikbundna lagsins (ASG)</i>	13
3.1.2 <i>Niðurbeygjumælar (LVDT)</i>	20
3.1.3 <i>Spennumælar (SPC)</i>	21
3.1.4 <i>Lóðrétt streita á mismunandi stöðum (EMU-coils)</i>	27
3.2 MÆLIGÖGN FRÁ VEGHLOTI: IS02	28
3.2.1 <i>Niðurbeygjumælar (LVDT)</i>	28
3.2.2 <i>Spennumælar (SPC)</i>	30
3.2.3 <i>Lóðrétt streita á mismunandi stöðum (EMU-coils)</i>	34
3.3 MÆLIGÖGN FRÁ VEGHLOTI: IS03	37
3.3.1 <i>Streitunemar í neðri brún bikbundna lagsins (ASG)</i>	37
3.3.2 <i>Niðurbeygjumælar (LVDT)</i>	42
3.3.3 <i>Spennumælar (SPC)</i>	44
3.3.4 <i>Lóðrétt streita á mismunandi stöðum (EMU-coils)</i>	47
4. SAMANBURÐUR Á MISMUNANDI VEGHLOTUM	51
4.1 MÆLING Á STREITU Í NEÐRI BRÚN BIKBUNDINNA LAGA.....	51
4.2 MÆLING Á NIÐURBEYGJU	52
4.3 MÆLING Á SPENNU	53
4.4 MÆLINGAR Á LÓÐRÉTTTRI STREITU.....	56
5. LOKAORÐ	58
VIÐAUKI I	
SKRÁ YFIR SKJÖL SEM INNIHALDA NIÐURSTÖÐUR HÁMARKSGILDA SVÖRUNARMÆLINGA	
VIÐAUKI II	
EMU-COILS TIL MÆLINGA Á LÓÐRÉTTTRI STREITU	
VIÐAUKI III	
ATHUGASEMDIR SKRÁÐAR VIÐ YFIRFERÐ GAGNA	
VIÐAUKI IV	
VANGAVELTUR UM SPENNUMÆLINGAR EFST Í VEGHLOTUNUM	

1. Inngangur

Fyrri hluta ársins 2000, var gert svokallað hraðaálagspróf, í skala 1:1, á íslenskum veghlotum¹, við VTI² í Svíþjóð. Bygðir voru tilraunakaflar með tveimur gerðum veghlota, með og án bikbundins hluta efra burðarlags. Hraðaálagspróf er fólgið í því að veghlotið verður fyrir endurteknu hjólaálagi, sem sett er á með sérbyggðu tæki, sjá skýringarmynd á mynd 1. Eins og fram kemur á myndinni, færast hjólaálagið fram og til baka, auk þess sem það dreifist einnig þvert á yfirborðið. Álagið getur verið á bilinu 30 til 110 kN og álagshjólíð getur verið annað hvort einfalt (t.d. “super single”) eða tvöfalt. Greint er frá framkvæmd áður nefndra prófa og mælingum sem gerðar voru í tengslum við þær í heimild [1].

Meðal mælinga sem voru gerðar við prófanirnar, voru umfangsmiklar mælingar á því hvernig veghlotin svöruðu mismunandi álagi. Þetta var gert með því að koma ýmis konar nemum fyrir á mismunandi stöðum í veghlotinu. Svörun þeirra var svo skráð fyrir breytilegt álag, hjólagerð (einfalt/tvöfalt), mismunandi loftþrýsting í dekkjum, hraða hjóls, staðsetning álags þvert á akstursstefnu og hitastig, sjá nánar næsta kafla þessarar skýrslu.

Áður en hægt er að nýta þessar svörunarmælingar til annarra athugana, þarf að fara yfir þær og kanna gæði þeirra og henda burtu því sem augljóslega er rangt af einhverjum orsökum. Í verkefninu sem þessi skýrsla fjallar um, hefur verið farið yfir mæligögnin með hliðsjón af þessu. Skýrslan er samantekt um þessa yfirferð gagnanna auk þess sem niðurstöður fyrir mismunandi veghlot eru lítillega bornar saman.



Mynd 1 HVS-tæki, raunverulegt álag sett á veguppbyggingu.

¹ Hér er orðið “veghlot” notað yfir það sem oft er nefnt vegbygging eða veguppbygging. Þetta er gert í samræmi við tillögur orðanefndar byggingaverkfræðideildar Verkfræðingafélags Íslands.

² VTI = Statens väg- och transportforskningsinstitut

Við yfirferð gagna sem þessarra, má segja að tvenns konar sjónarmið séu í gildi. Annars vegar sjónarmið þess sem ætlar að nýta gögnin til rannsókna og frekari athugana. Hann vill aðeins sjá gögn, sem hann getur verið nokkuð viss um að séu rétt út frá þeim skorðum sem viðkomandi mælingu eru almennt settar. Hitt er sjónarmið þess sem stendur að mælingunni. Hann vill til dæmis fá að vita hvað hann þurfi að setja niður marga mæla sem mæla ákveðinn eiginleika, til að fá áreiðanlegar niðurstöður. Hann vill líka vita hvers vegna einhverjar mælingar teljast gallaðar og óáreiðanlegar, til að geta bætt þær í framtíðinni. Við yfirferð gagnanna nú hefur verið reynt að fylgja fyrri sjónarmiðinu og ákveðið að henda burt mælingum sem á einhvern hátt virðast vafasamar, eða beinlínis rangar.

Sigurður Erlingsson las skýrsluna yfir og kom með ýmsar ábendingar um efni hennar. Eru honum hér með færðar bestu þakkir fyrir það.

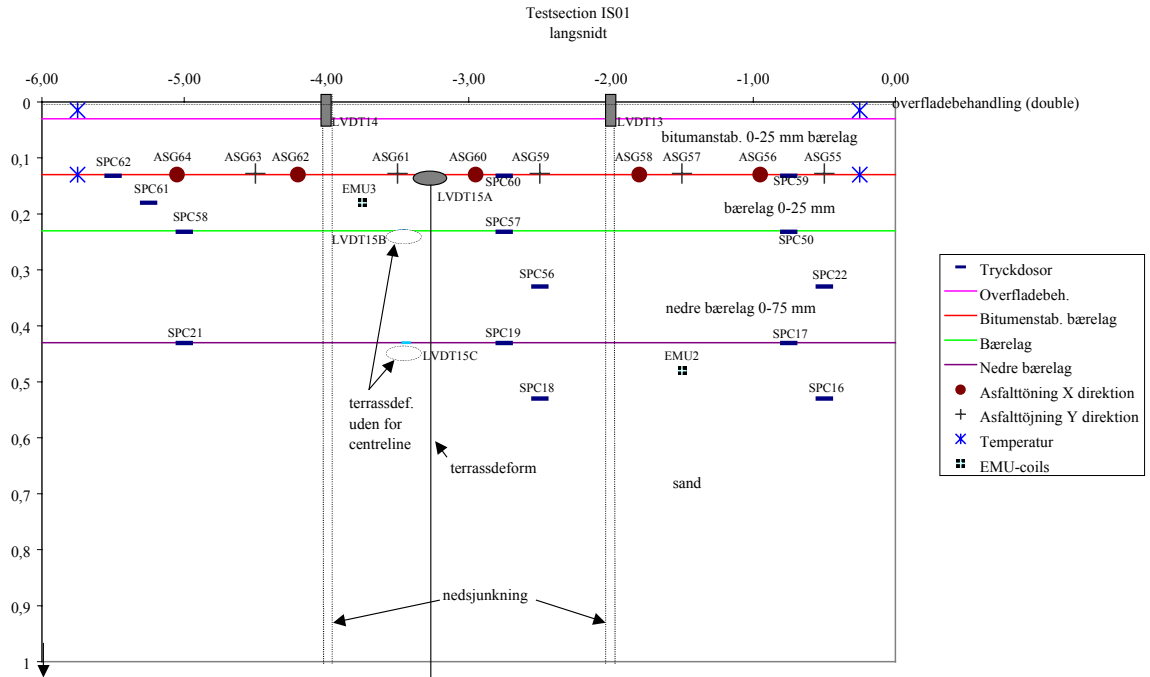
2. Svörunarmælingar á íslenskum HVS-tilraunaköflum

Eins og nefnt er í inngangi skýrslunnar, voru byggðir tilraunakaflar við VTI í Svíþjóð og tvenns konar veghlot prófuð. Annars vegar með óbundnu efra burðarlagi og hins vegar með efri hluta efra burðarlagsins bikbundinn. Nánari upplýsingar um efni sem notuð voru og eiginleika þeirra má fá í heimild [1]. Byrjað var á að byggja tilraunakafla með bikbundnu burðarlagi, en bikið sem notað var til að binda burðarlagið, var of mjúkt og ekki í samræmi við forskrift. Því voru í raun byggðir 3 tilraunakaflar, nefndir IS01, IS02 og IS03, þar sem sá síðastnefndi var endurbygging á þeim fyrst nefnda, en með réttri gerð af biki. Þrátt fyrir að IS01 væri ekki rétt byggður, voru gerðar svörunarmælingar á honum og er hægt að hafa þær til samanburðar við svörunarmælingar frá hinum köflunum.

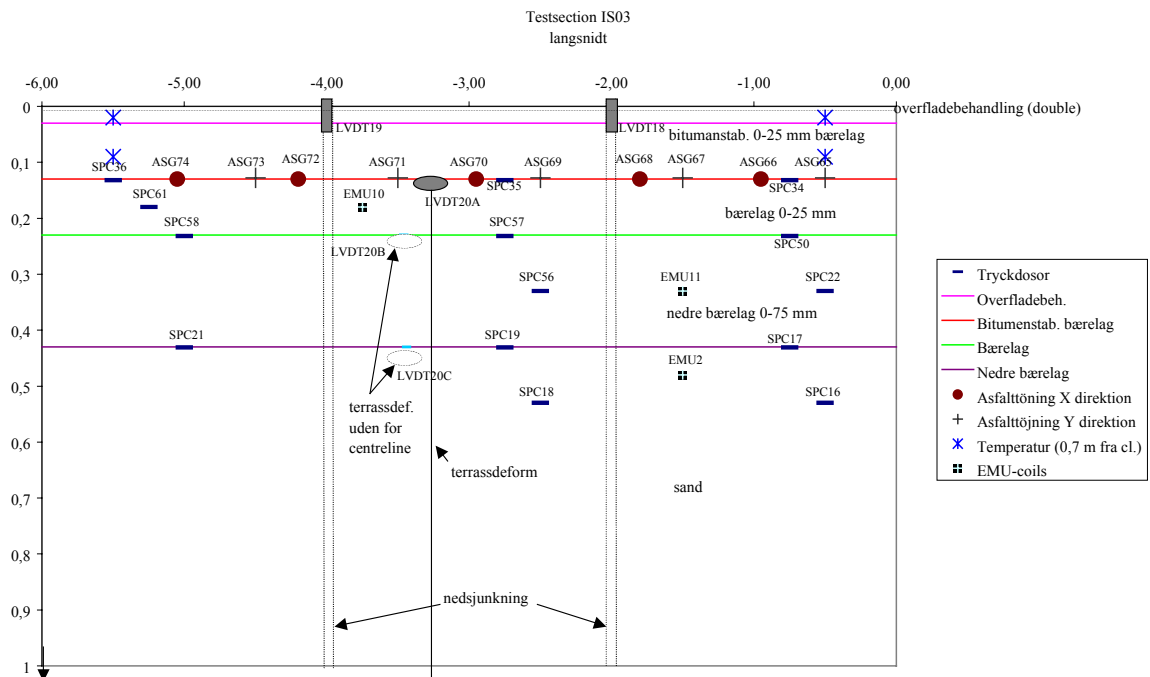
2.1 Staðsetning svörunarmæla

Staðsetning svörunarmæla í mismunandi veghlotum, er sýnd á mynd 2, 3 og 4. Eins og fram kemur á myndunum, er mælibúnaðurinn í IS01 og IS03 hinn sami, fyrir utan streitunema í neðri brún bikbundna lagsins og mælar sem mæla niðurbeygju yfirborðs (“nedsjunkning”). Þessum mælum var skipt út þegar nýtt bikbundið burðarlag var lagt út. Einnig voru settir nýjir EMU-coils mælar í óbundna hluta efra burðarlagsins og í neðra burðarlagið.

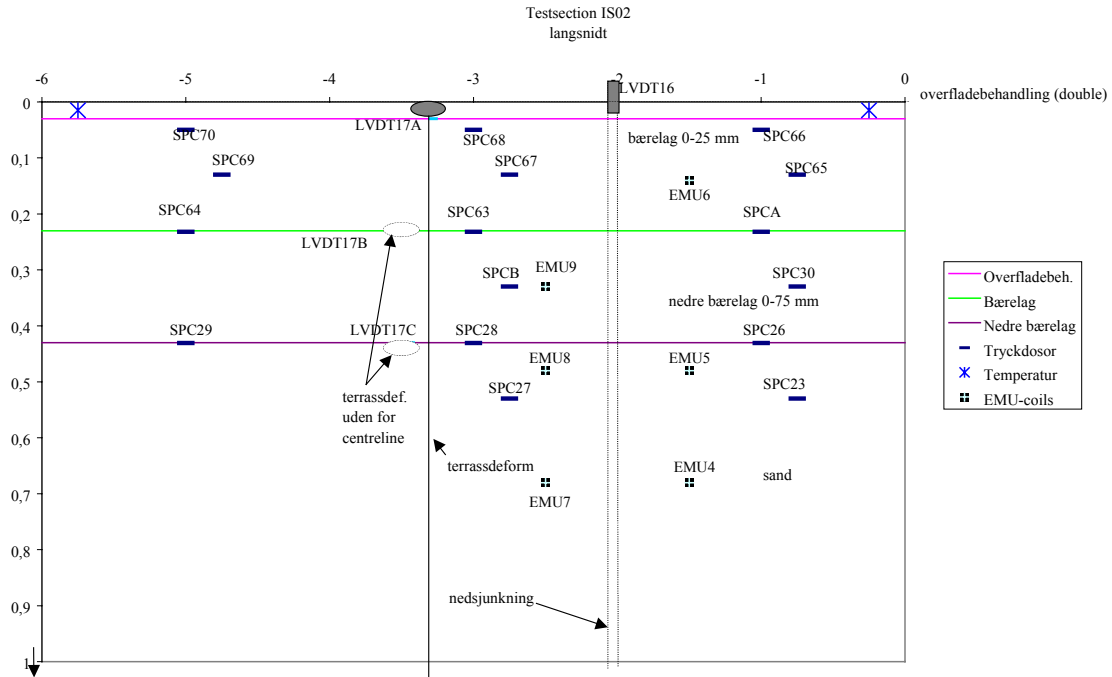
Streitumælarnir (ASG), sem mæla streitu í neðri brún bikbundinna laga, voru frá fyrirtækinu Dynatest (svokallaðir “H-bar”), spennumælar (SPC) koma frá háskólanum í Nottingham í Englandi sem og streitunemar (EMU) sem mæla lóðréttu streitu ofan í uppbyggingunni (nánari umfjöllun um EMU-mæla er í viðauka II). Niðurbeygjumælar eru af svokallaðri LVDT-gerð (“Linear Variable Deformation Transducers”). Lóðrétt staðsetning EMU-mælanna á myndunum er miðuð við punkt mitt á milli spólanna tveggja, en fjarlægð milli þeirra í upphafi er u.þ.b. 10 cm (sjá viðauka II). Niðurtöður úr mælunum er því streita á +/- 5 cm bili þar fyrir ofan og neðan.



Mynd 2: Mælibúnaður í veghloti IS01



Mynd 3: Mælibúnaður í veghloti IS03, sá sami og í IS01, nema komnir eru nýjir streitunemar (ASG) í neðri brún bikbundna lagsins, sigmælar á yfborði (LVDT 18 og 19) og EMU10 og EMU11 eru einnig komnir inn.



Mynd 4: Mælibúnaður í veghloti IS02

Svörun mælanna sem sýndir eru á myndunum var skráð fyrir mismunandi aðstæður, eða álagstilvik. Upplýsingar um það koma fram í töflum 1, 2, 3 og 4. Hvert álagstilvik er auðkennt með einum bókstaf (“S” (single) fyrir einfalt hjól og “P” (par) fyrir tvöfalt hjól) og tölustaf og er hægt að lesa úr töflunum, hvaða loftþrýstingur var í dekkjum, hvert álag var á hjólið, hver hraðinn var auk upplýsingar um staðsetningu álagsins miðað við miðjulínu og hitastig við mælingu. Varðandi hitastig er í töflunni það hitastig í slitlaginu sem stefnt var að. Þessu hitastigi er náð með því að breyta lofthita í klefanum sem er utan um mælibúnaðinn. Lofthitinn var mældur og skráður og getur verið örlítið hærri eða lægri en það sem fram kemur í töflunni. Þegar svörun hinna mismunandi mæla er skráð, er það tengt við þetta auðkenni álagsins (bókstaf og tölustaf).

Tafla 1: Skema fyrir svörunarmælingar IS01

HVS-Nordic/VTI, Resposmätning Test IS01

Nummer	Singelhjul			Position i tvärled (cm)*			Beläggningstemp. (°C)
	Ringtryck (kPa)	Last (kN)	Hastighet (km/h)	0	-15	distribution	
S1	500	30	12	x			+10
S3	500	80	12	x			+10
S4	500	60	12			x	+10
S5	600	30	12	x			+10
S7	600	80	12	x			+10
S8	600	60	12			x	+10
S9	800	30	12	x			+10
S11	800	80	12	x			+10
S12	800	60	2*	x			+10
S13	800	60	4*	x			+10
S14	800	60	8	x			+10
S16	800	60	12			x	+10
S17	900	30	12	x			+10
S19	900	80	12	x			+10
S20	900	60	12			x	+10

*sleppt v. bilunar í tæki

Nummer	Parhjúl			Position i tvärled (cm)*			Beläggningstemp. (°C)
	Ringtryck (kPa)	Last (kN)	Hastighet (km/h)	0	-15	distribution	
P1	500	30	12	x	x		+10
P3	500	80	12	x	x		+10
P4	500	60	12			x	+10
P5	600	30	12	x	x		+10
P7	600	80	12	x	x		+10
P8	600	60	12			x	+10
P9	800	30	12	x	x		+10
P11	800	80	12	x	x		+10
P12	800	60	12			x	+10
P13	800	60	2*	x	x		+10
P14	800	60	4*	x	x		+10
P15	800	60	8	x	x		+10
P17	900	30	12	x	x		+10
P19	900	80	12	x	x		+10
P20	900	60	12			x	+10
P21	800	30	12	x	x		+0
P23	800	80	12	x	x		+0
P24	800	60	12			x	+0
P29	800	30	12	x	x		+15
P31	800	80	12	x	x		+15
P32	800	60	12			x	+15

*sleppt v. bilunar í tæki

*) Position i tvärled: 0 = Centrumlinjen
 Tvärfördelning singelhjul: från -35 till +35 cm i 5 cm steg
 Tvärfördelning dubbelhjul: från -25 till +25 cm i 5 cm steg

Tafla 2: Skema fyrir svörunarmælingar IS02

HVS-Nordic/VTI, Responsmätning Test IS02

Nummer	Singelhjul			Position i tvärled (cm)*			Beläggningstemp. (°C)
	Ringtryck (kPa)	Last (kN)	Hastighet (km/h)	0	-15	distribution	
S1	500	30	12	x			+10
S2	500	50	12	x			+10
S3	500	80	12	x			+10
S4	500	60	12			x	+10
S5	600	30	12	x			+10
S6	600	50	12	x			+10
S7	600	80	12	x			+10
S8	600	60	12			x	+10
S9	800	30	12	x			+10
S10	800	50	12	x			+10
S11	800	80	12	x			+10
S12	800	60	2	x			+10
S13	800	60	4	x			+10
S14	800	60	8	x			+10
S16	800	60	12			x	+10
S17	900	30	12	x			+10
S18	900	50	12	x			+10
S19	900	80	12	x			+10
S20	900	60	12			x	+10

Nummer	Parhjul			Position i tvärled (cm)*			Beläggningstemp. (°C)
	Ringtryck (kPa)	Last (kN)	Hastighet (km/h)	0	-15	distribution	
P1	500	30	12	x	x		+10
P2	500	50	12	x	x		+10
P3	500	80	12	x	x		+10
P4	500	60	12			x	+10
P5	600	30	12	x	x		+10
P6	600	50	12	x	x		+10
P7	600	80	12	x	x		+10
P8	600	60	12			x	+10
P9	800	30	12	x	x		+10
P10	800	50	12	x	x		+10
P11	800	80	12	x	x		+10
P12	800	60	12			x	+10
P13	800	60	2	x	x		+10
P14	800	60	4	x	x		+10
P15	800	60	8	x	x		+10
P16**	800	60	12	x	x		10
P17	900	30	12	x	x		+10
P18	900	50	12	x	x		+10
P19	900	80	12	x	x		+10
P20	900	60	12			x	+10

** Bara gert í "minirespons" meðan á aðalkeyrslum stendur

*) Position i tvärled: 0 = Centrumlinjen
 Tvärfördelning singelhjul: från -35 till +35 cm i 5 cm steg
 Tvärfördelning dubbelhjul: från -25 till +25 cm i 5 cm steg

Tafla 3: Skema fyrir svörunarmælingar IS03, einfalt hjól

HVS-Nordic/VTI, Responsmätning Test IS03

Nummer	Singel hjul			Position i tvärled (cm)*			Beläggings- temp. (°C)
	Ringtryck (kPa)	Last (kN)	Hastighet (km/h)	0	-15	distribution	
S1	500	30	12	x			+10
S2	500	50	12	x			+10
S3	500	80	12	x			+10
S4	500	60	12			x	+10
S5	600	30	12	x			+10
S6	600	50	12	x			+10
S7	600	80	12	x			+10
S8	600	60	12			x	+10
S9	800	30	12	x			+10
S10	800	50	12	x			+10
S11	800	80	12	x			+10
S12	800	60	2	x			+10
S13	800	60	4	x			+10
S14	800	60	8	x			+10
S16	800	60	12			x	+10
S17	900	30	12	x			+10
S18	900	50	12	x			+10
S19	900	80	12	x			+10
S20	900	60	12			x	+10

*) Position i tvärled: 0 = Centrumlinjen
 Tvärfördelning singel hjul: från -35 till +35 cm i 5 cm steg
 Tvärfördelning dubbel hjul: från -25 till +25 cm i 5 cm steg

Tafla 4: Skema fyrir svörunarmælingar IS03, tvöfalt hjól

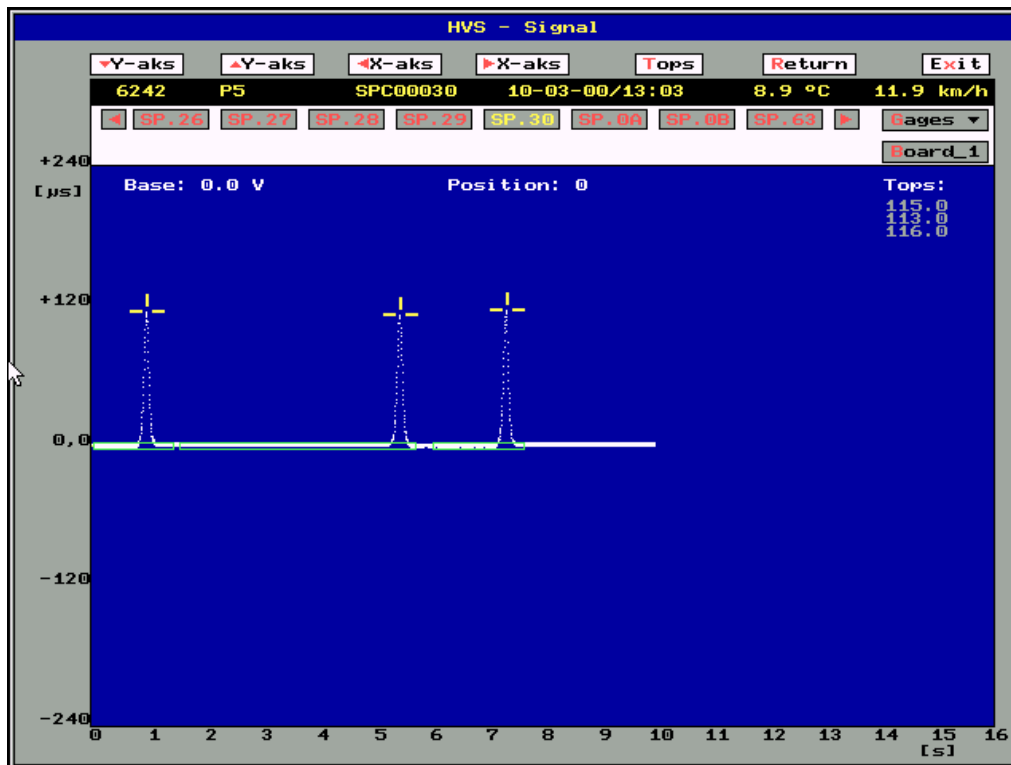
HVS-Nordic/VTI, Resposmätning Test IS03

Nummer	Parhjól			Position i tvärled (cm)*			Beläggings- temp. (°C)
	Ringtryck (kPa)	Last (kN)	Hastighet (km/h)	0	-15	distribution	
P1	500	30	12	x	x		+10
P2	500	50	12	x	x		+10
P3	500	80	12	x	x		+10
P4	500	60	12			x	+10
P5	600	30	12	x	x		+10
P6	600	50	12	x	x		+10
P7	600	80	12	x	x		+10
P8	600	60	12			x	+10
P9	800	30	12	x	x		+10
P10	800	50	12	x	x		+10
P11	800	80	12	x	x		+10
P12	800	60	12			x	+10
P13	800	60	2	x	x		+10
P14	800	60	4	x	x		+10
P15	800	60	8	x	x		+10
P17	900	30	12	x	x		+10
P18	900	50	12	x	x		+10
P19	900	80	12	x	x		+10
P20	900	60	12			x	+10
P21	800	30	12	x	x		+0
P22	800	50	12	x	x		+0
P23	800	80	12	x	x		+0
P24	800	60	12			x	+0
P29	800	30	12	x	x		+15
P30	800	50	12	x	x		+15
P31	800	80	12	x	x		+15
P32	800	60	12			x	+15
P33	800	30	12	x	x		+20
P34	800	50	12	x	x		+20
P35	800	80	12	x	x		+20
P36	800	60	12			x	+20

*) Position i tvärled: 0 = Centrumlinjen
 Tvärfördelning singelhjul: från -35 till +35 cm i 5 cm steg
 Tvärfördelning dubbelhjul: från -25 till +25 cm i 5 cm steg

2.2 Skráning svörunar

Svörun hinna mismunandi mæla var skráð með tölvubúnaði, þannig að viðkomandi álag var keyrt nægilega lengi til að hjólið fór þrisvar yfir hvern mæli. Þegar hraðinn er 12 km/klst, eins og á við í flestum tilvikum, er mælt í 10 sekúndur. Tíminn þarf svo að vera lengri ef mælt er á minni hraða. Ef mælitíminn er 10 sek, er svörunin skráð 2.500 sinnum. Niðurstöður fyrir hvern einstakan svörunarmæli, eru skráðar í sérstakt skjal. Í forritinu sem notað er til að skrá mælingarnar er hægt að skoða svörun hvers mælis fyrir sig, sem fall af tíma, sjá mynd 5. Einnig er hægt að láta forritið geyma mælinguna sem “ascii” skjal, sem síðan er hægt að opna í Excel og vinna frekar með.



Mynd 5: Niðurstöður svörunar spennumælis SPC30 í IS02 fyrir álagstilvik P5, skoðaðar í forriti sem notað er til að skrá mælingar. Forritið hefur einnig verið beðið um að sýna hæstu gildin (top-values).

Auk þess að skrá 2.500 punkta fyrir hverja einstaka mælingu, eru skráð hámarksgildin (top-values) þrjú fyrir hvern mæli (sjá mynd 5), auk annarra upplýsinga um keyrsluna. Rútínan í skráningarforritinu sem finnur þessi hámarksgildi er þó ekki nægilega góð og fyrir kemur að hún finnur ekki rétt gildi. Til að finna þau tilvik, þar sem skráningarforritið finnur röng hámarksgildi, skrifaði Sven Agardh (þá verandi) doktorsnemi við háskólann í Lundi í Svíþjóð, forrit í Excel. Þetta forrit safnar hámarksgildum, fyrir mismunandi mæla og mælingar, saman og finnur þau tilvik, þar sem munur á hámarksgildunum þremur er óeðlilega mikill og í framhaldi af því er hægt að fara aftur inn í skráningarforritið til að finna rétt gildi. Við þá yfirferð gagnanna sem þessi skýrsla fjallar um, var hægt að finna réttu gildin ýmist með því að láta skráningarforritið finna hámarksgildin á ný, með breyttum forsendum, en stundum var það ekki hægt og þá var reynt að lesa gildin beint af skjánum (sjá mynd 5). Rétt er að taka fram að þessi aðferð tryggir ekki að öll röng gildi finnist, því fyrir getur komið að skráningarforritið velji þrjú gildi sem ekki eru hámarksgildin og munur á milli þeirra er innan marka sem forrit Sven Agardhs gerir ráð fyrir. Oftast koma slík gildi þá fram sem “útlagar” miðað við önnur gildi og má þá sleppa þeim í úrvinnslu.

Þau hámarksgildi (top-values) sem fengust með ofangreindum aðferðum eru skráð í Excel skjöl eins og áður sagði og er listi yfir þau í viðauka I. Fyrir hverja gerð mæla eru fjögur skjöl. Tvö þeirra eru fyrir *einfalt hjól*, annars vegar þegar það fer eftir miðlínu og hins vegar þegar það er látið færast þvert á stefnu hjólsins (frá stöðu -35 til +35 cm frá miðlínu í 5 cm stökkum). Önnur tvö eru svo fyrir *tvöfalt hjól*. Annað inniheldur gögn þegar hjólaparið fer þannig að miðlína er mitt á milli hjólanna og einnig þegar miðlínan er í 15 cm fjarlægð frá punkti mitt á milli hjólanna. Hitt þegar hjólaparið er látið færast þvert yfir miðlínuna í 5 cm stökkum, úr stöðu -25 til +25 cm (miðað við punkt mitt á milli hjólaparanna). Nánari upplýsingar um þetta er að finna í

heimild [1]. Í hverju af þessum skjölum, eru svo niðurstöður álagstilvika, sem sýnd eru í töflum 1 til 4.

Þegar áður nefnt tölvuforrit skráir gögn mælinganna, eru merkin í öllum tilvikum raungildi, þ.e. spennur, streitur og niðurbeygjur, nema fyrir hina svokölluðu EMU-mæla, sem mæla streitu. Til að umreikna merki EMU-mæla í raungildi þarf að nota sérstaka kvörðun. Aðferðinni við þessa umreikninga er lýst nánar í viðauka II.

2.3 Úrvinnsla og skoðun gagna

Eins og fram kemur hér á undan, er hægt að skoða gögnin á ýmsa vegu. Hér má nefna dæmi:

Í fyrsta lagi má skoða svörun einstaks mælis við einu álagi, sem fall af tíma, eins og sýnt er á mynd 5. Slíkar niðurstöður er m.a. hægt að nota til að bera niðurstöður saman við útreikninga með fræðilegum aðferðum, sjá til dæmis heimild [2]. Þetta kostar þó að velja þarf hvaða nema menn vilja skoða og fyrir hvaða álag. Síðan þarf að vinna gögnin sérstaklega til að fá fram niðurstöðurnar.

Í öðru lagi má skoða hámarksgildi mælinganna sem fall af ýmsum öðrum þáttum, s.s. álagi, loftþrýstingi o.s.frv. Það er sú leið sem farin er í þessu verkefni. Við yfirferð gagnanna hefur hámarksgildunum, eins og áður segir, verið safnað saman í Excel skjöl, sjá lista yfir skjölin í viðauka I, og eru þau skoðuð.

Einnig má nefna að í þeim tilvikum þar sem svörun er skráð fyrir dreift álag (“distribution”), er hægt að nota þær niðurstöður til að fá fram hvernig álagið dreifir sér niður í veghlotið. Slíkar niðurstöður er einnig hægt að bera saman við niðurstöður fræðilegra útreikninga.

3. Yfirferð gagna og dæmi um niðurstöður

Við yfirferð gagnanna og skoðun á hámarksgildum, skráði skýrsluhöfundur ýmsar athugasemdir hjá sér. Þessar athugasemdir eru sýndar í viðauka III og rétt er að hafa þær í huga þegar niðurstöður eru skoðaðar og ályktanir dregnar.

Rétt er að vekja athygli á nokkrum atriðum sem skráð eru, en einnig koma athugasemdir fram í köflunum hér á eftir varðandi einstaka mæla. Í athugasemdum í viðauka III kemur fram að alltaf er “skekka” í niðurbeygjumælum (LVDT mælum), sem eru niðri í veghlotinu (sjá myndir 2 til 4). Mælarnir eru merktir með númeri og bókstaf. Samkvæmt öllum gögnum eiga þeir sem eru merktir með bókstaf “A” að vera efstir, mælarnir merktir með bókstaf “B” í miðjunni, en þeir sem eru merktir með bókstaf “C” neðstir, eins og fram kemur á myndunum. Niðurstöður mælinga eru þó alltaf þannig að mælir merktur með bókstaf “B” sýnir minna útslag en mælir merktur með bókstaf “C”, þó sá fyrirnefndi eigi að vera ofar í veghlotinu. Þrátt fyrir ítarlegar athuganir hafa ekki fengist skýringar á þessu. Allt bendir til að mælarnir séu rétt tengdir. Hins vegar kemur fram að þegar þessir mælarnir eru notaðir til að mæla varanlega niðurbeygju á viðkomandi stað, sjá heimild [1], er niðurstöðin í samræmi við staðsetningu þeirra í veghlotinu samkvæmt myndum 2 til 4. Í þessari skýrslu eru niðurstöður skoðaðar þannig að gert er ráð fyrir að mælarnir merktir “B” gefi niðurstöðu í dýpi sem mælarnir merktir “C” eru í, samkvæmt myndunum, og öfugt.

Í veghloti IS02, var sett málmlata við niðurbeygjumæli númer 16, þ.e. mælinn sem mælir yfirborðsniðurbeygju. Þetta var gert til að reyna að tryggja að mælirinn fylgdi hreyfingu klæðingarinnar þegar hjólið fór yfir. Hins vegar virðist þetta hafa haft þau áhrif að niðurbeygjan verður minni á þessum stað, en reikna má með. Rétt er að hafa það í huga þegar þessar mælingar eru skoðaðar.

Í veghloti IS02 kemur fram að mældar spennur (þrjár mælarnir á hverjum stað) í miðju efra burðarlagi (í um 10 cm dýpi), eru hærri en mældar spennur í um 5 cm dýpi. Erfitt er að útskýra þetta, en tillögur hafa komið upp um að mælarnir eru svona ofarlega (5 cm dýpi), taki ekki upp nema hluta álagsins, sjá umfjöllun í viðauka IV. Önnur hugsanleg skýring er að efsti hluti efnisins hafi verið minna þjappaður en þegar neðar dregur og mælarnir mæli því of lágar spennur. Almennu má segja um niðurstöðurnar að það er ekki alltaf samband milli dýptar og niðurstöðu spennumælinga. Það má líklega stundum skýra með því að mælinákvæmnin er ekki meiri, sérstaklega ef tekið er tillit til þess að spennumælarnir eru í nokkuð grófkorna efni. Þó reynt hafi verið að koma þeim þannig fyrir að engin stök gróf korn snertu þá, kann það að hafa gerst og í þeim tilvikum er hætt á að mælirinn sýni of há gildi.

3.1 Mæligögn frá veghloti: IS01

3.1.1 Streitunemar í neðri brún bikbundna lagsins (ASG).

Rétt er að taka strax fram, að almennt ætti að taka niðurstöðum úr þessum mælingum með þeim fyrirvara að bikið sem notað var í þessu tilviki var of mjúkt og einungis að skoða þær í því ljósi. Vegna þess að mælingum var hætt, strax eftir forálag og svörunarmælingarnar, eru engar upplýsingar að fá um samband fjölda álagsendurtekninga og svörunar.

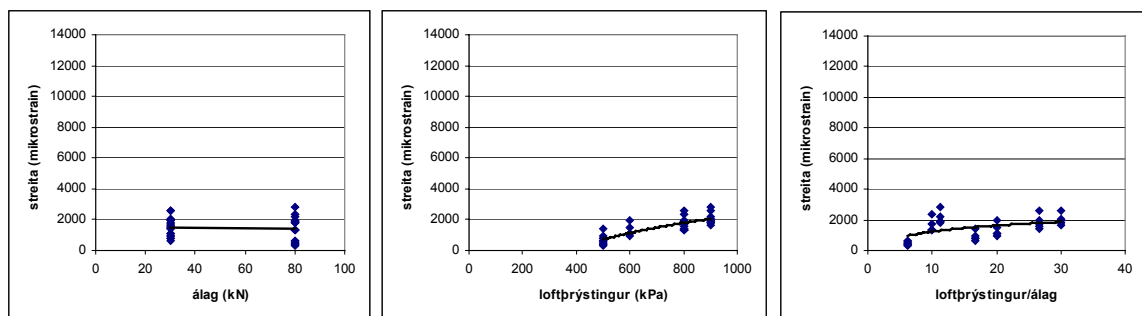
Í upphafi kom strax í ljós að mælir nr. 62 (sjá mynd 2) var bilaður og engar niðurstöður eru skráðar fyrir hann. Þá kom fljótlega fram bilun í mæli nr 64 og engar skráningar eru til fyrir hann þegar sett var álag með tvöföldu hjóli. Mælir númer 56 fór að sýna undarlega hegðun frá og með álagstilviki P20 og er því ekki hafður með eftir það.

Eins og fram kemur í Viðauka I eru niðurstöður svörunar annars skráðar í 4 skjöl. Á myndum númer 6 til 18 eru dæmi um niðurstöður, sem fengnar eru úr þessum skjölum (í myndatexta eru frekari upplýsingar og athugasemdir). Á myndunum er togstreita jákvæð og þrýstistreita neikvæð. Þegar myndirnar eru skoðaðar almennt, með tilliti til þess hvað búast má við varðandi tog- og þrýstistreitur, virðast niðurstöður að mestu eðlilegar. Mælarnir sýna mesta togstreitu þegar hjól er beint yfir þeim, en mesta þrýstistreitu ef þeir færast fjær þeim, með undantekningum sem ræddar eru hér á eftir.

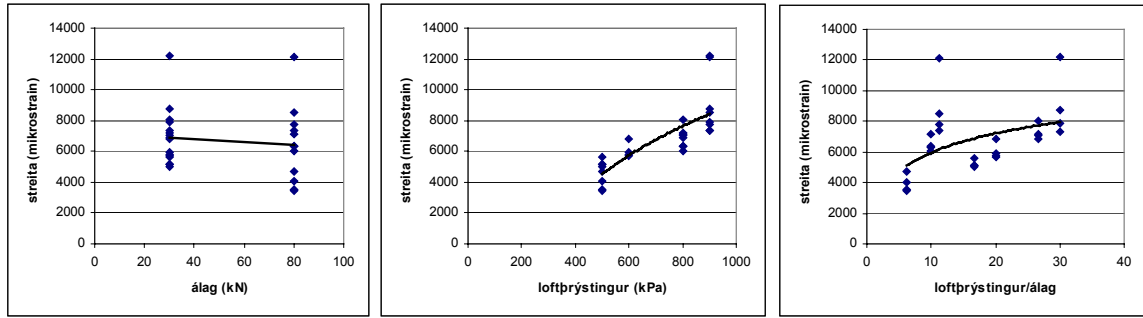
Draga má saman niðurstöður mældrar hámarksstreitu, sem fram koma á myndunum, þannig að stærðargráða *hámarks þverstreitu* undir *miðju einföldu hjóli* er u.þ.b.1000-2000 microstrain. Hins vegar má sjá á mynd 12 að hámarksgildin mælast ekki undir miðju hjóli, heldur er hún mest undan jöðrum hjólanna og fer þá upp í allt að 6000 microstrain. Stærðargráða *hámarks langstreitu* undan *einföldu hjóli* er dreifðari á bilinu 4000-8000 microstrain, með einstaka útlögum. Það er aðallega loftþrýstingur í dekkjum, sem hefur áhrif á þennan breytileika. *Hámarks þverstreita* undan *tvöföldu hjóli* er á bilinu 1000-4000 microstrain, þegar mælt er beint undir öðru hjólinu, en hins vegar á bilinu 2500-6000 microstrain (þrýstistreita) á milli hjóla. *Hámarks langstreita* undan *tvöföldu hjóli* er er á bilinu 4000-6000 microstrain, með einstaka undantekningum, sem jafnvel eru neikvæð, samanber myndir 10 og 11. Búast hefði mátt við því að langstreita sé jákvæð í öllum tilvikum þegar hjól er í stöðu -15 (mynd 11), því þá er annað hjólið yfir mælinum (sbr. einnig mynd 9) en svo er ekki. Hugsanlega hefur hitt hjólið áhrif til að “rugla” þessa niðurstöðu og í einhverjum tilvikum mælist hámarksstreitan því neikvæð.

Almennt virðist álag ekki hafa áhrif til að auka streitur undan einföldu hjóli, meðan loftþrýstingurinn hefur hins vegar áhrif, sjá myndir 6, 7 og einnig mynd 14. Álag undan tvöföldu hjóli hefur hins vegar áhrif til aukningar á streitu, sbr myndir 8, 9, 10 og 11.

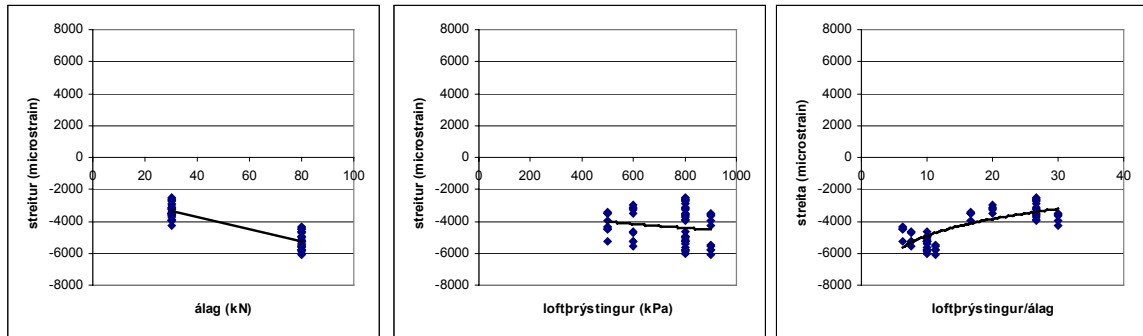
Á myndum 16 og 18 má sjá að mæld streita mælist hærri með auknu hitastigi, sem er eðlilegt.



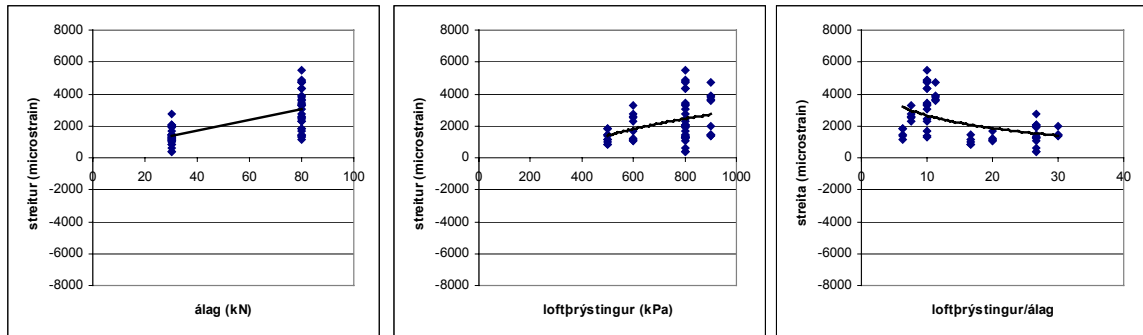
Mynd 6: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert á akstursstefnu hjólsins, einfalt hjól fer eftir miðlinu (í stöðu 0), allir mælar. Álag hefur lítil áhrif á streituna, en loftþrýstingur í dekkjum augljós.



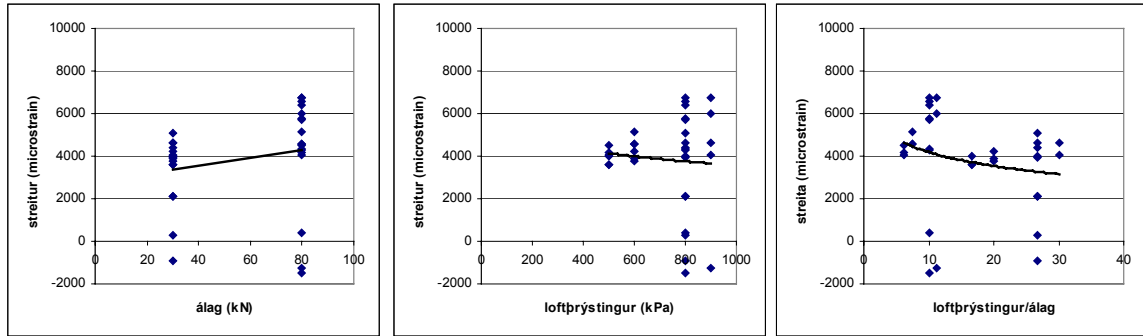
Mynd 7: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs eftir akstursstefnu hjólsins, einfalt hjól fer eftir miðlínu (í stöðu 0), allir mælar. Hér hefur álag einnig lítil áhrif, en loftþrýstingur í dekkjum þem mun meiri.



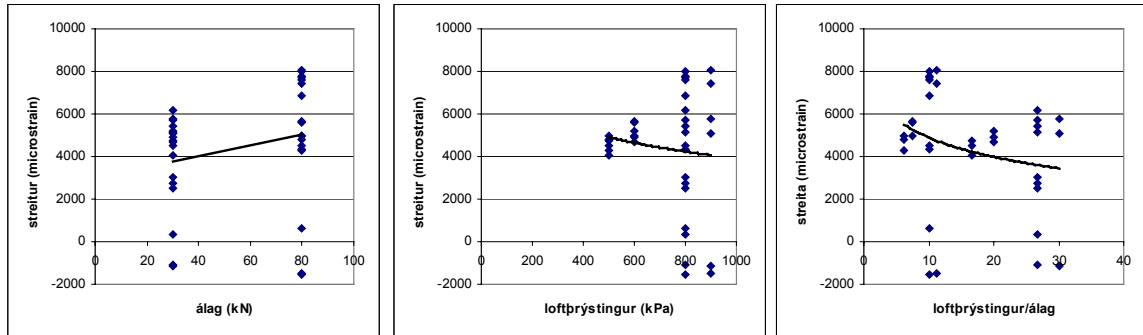
Mynd 8: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert á akstursstefnu hjólsins, tvöfalt hjól fer eftir miðlínu (í stöðu 0), allir mælar. Álag virðist hafa meiri áhrif á þrýstistreitu á milli hjóla, en loftþrýstingurinn.



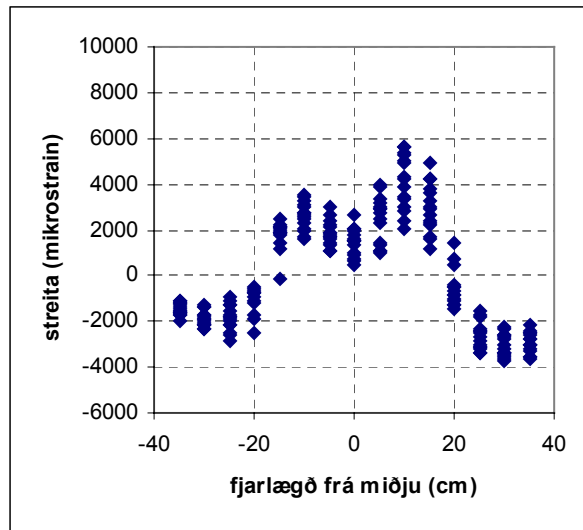
Mynd 9: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert á akstursstefnu hjólsins, tvöfalt hjól í stöðu -15 (annað hjól nánast yfir mælunum), allir mælar. Álag og loftþrýstingur hafa áhrif á streituna.



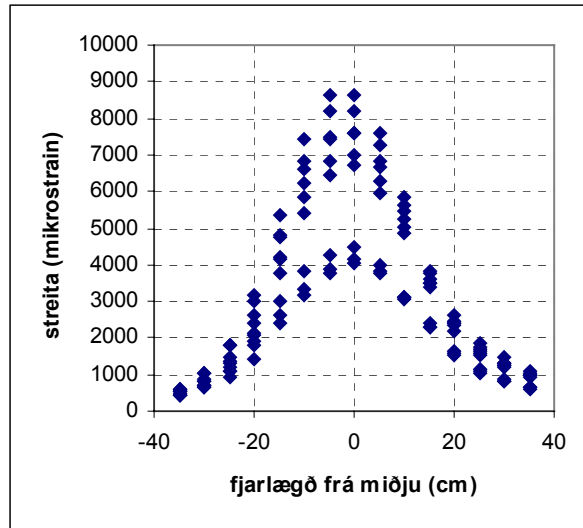
Mynd 10: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs eftir akstursstefnu hjóls, tvöfalt hjól í stöðu 0, allir mælar. Hér eru “útlagar”, sem gera það að verkum að erfitt er að sjá áhrif álags og loftþrýstings í dekkjum. Megin raglan er þó að um togstreitu er að ræða.



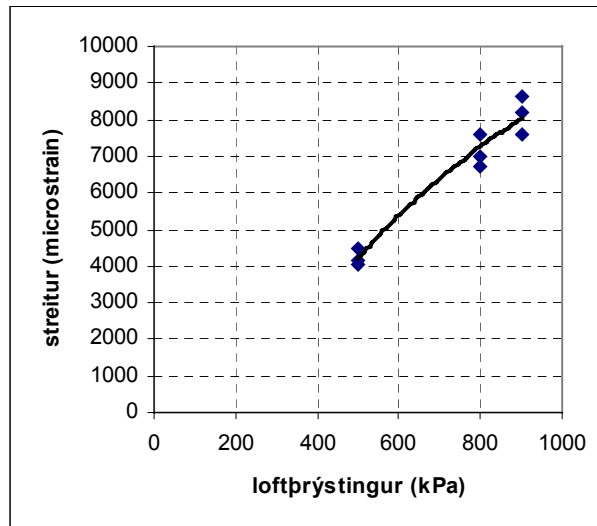
Mynd 11: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs eftir akstursstefnu hjóls, tvöfalt hjól í stöðu -15, allir mælar. Hér eru einnig útlagar, sem gera erfitt að sjá áhrif álags og loftþrýstings, þó líklegt sé að aukið álag hafi áhrif til aukinnar streitu.



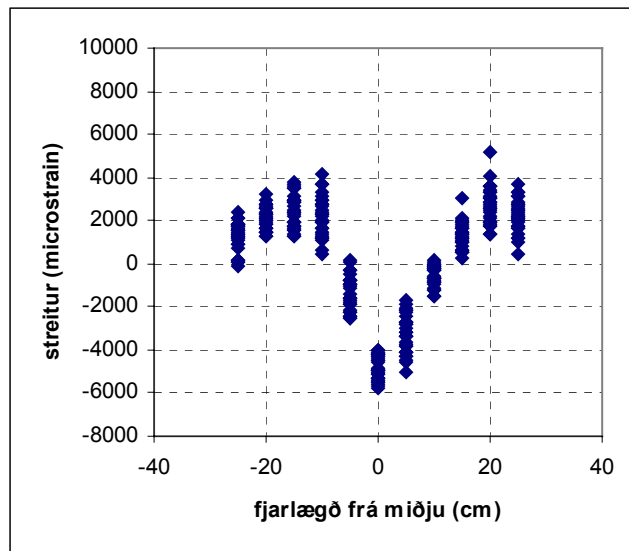
Mynd 12: Streita þvert, sem fall af staðsetningu einfalds hjóls þvert á akstursstefnu, allir mælar. Hér kemur fram að streitan mælist ekki mest undir miðju einföldu hjóli, heldur við jaðra þess. Álag 60 kN, loftþrýstingur mismunandi.



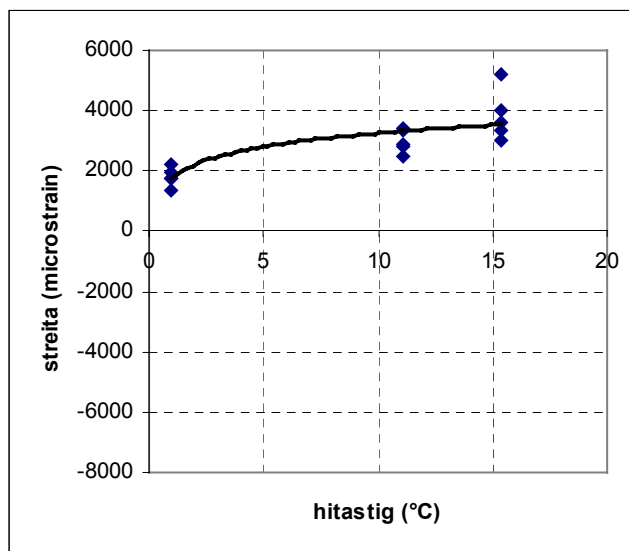
Mynd 13: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs sem fall af staðsetningu einfalds hjóls, þvert á akstursstefnu, allir mælar. Dreifing mælinga við miðju ræðst af loftþrýstingum í dekkjum, sjá Mynd 14. Álag 60 kN, loftþrýstingur mismunandi.



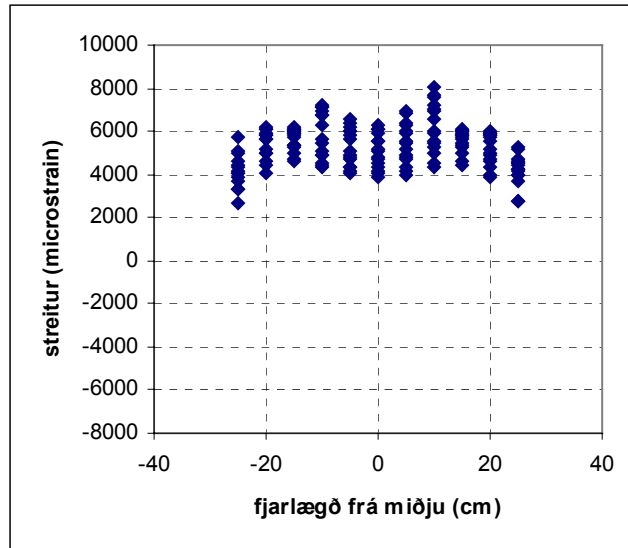
Mynd 14: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs sem fall af loftþrýstingum, með einfalt hjól í stöðu 0, allir mælar. Aukning loftþrýstings í dekkjum, úr 500 kPa í 900 kPa hefur í för með sér tvöföldun á streitu.



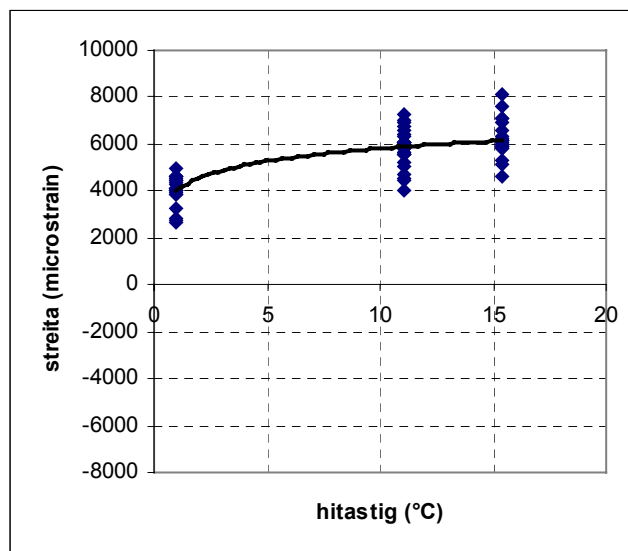
Mynd 15: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert sem fall af staðsetningu tvöfalda hjóls, þvert á akstursstefnu, sýndar eru niðurstöður fyrir einstaka mæla, allir mælar og öll álagstilvik. Sjá má togstreitu undir miðju hvoru hjóli, en mitt á milli þeirra (í stöðu 0) er um þrýstistreitu að ræða.



Mynd 16: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert sem fall af hitastigi, álag 60 kN þrýstingur 800 kPa. Tvöfalt hjól í stöðu +20 (sjá **Mynd 15**). Aukning hitastigs úr c.a. 1°C í um 15°C hefur í för með sér nær tvöföldun á streitu.



Mynd 17: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs sem fall af staðsetningu tvöfalda hjóls, þvert á akstursstefnu, sýndar eru niðurstöður einstakra mæla, allir mælir með og öll álagstilvik. Langstreitan mælist mest undir hjólum, en heldur minni milli þeirra.



Mynd 18: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs sem fall af hitastigi, allar mælingar (sbr Mynd 17), álag 60 kN, loftþrýstingur 800 kPa. Aukning hitastigs úr 1°C í 15°C hefur í för með sér um 50% aukningu í streitu.

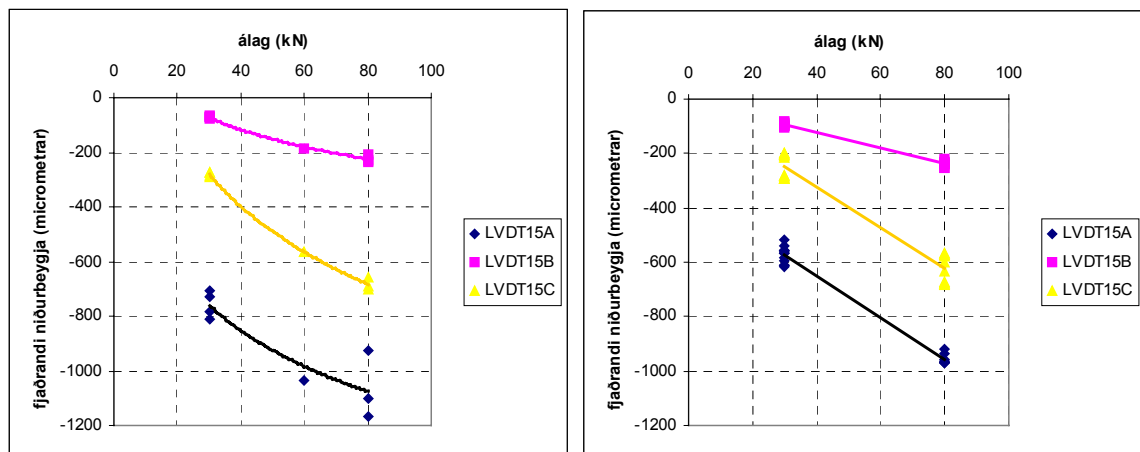
3.1.2 Niðurbeygjumælur (LVDT)

Mælur LVDT13 og LVDT14 (sjá mynd 2), dattu fljótlega út og sýndu ekki eðlilegar niðurstöður. Þeirra er því ekki getið frekar hér.

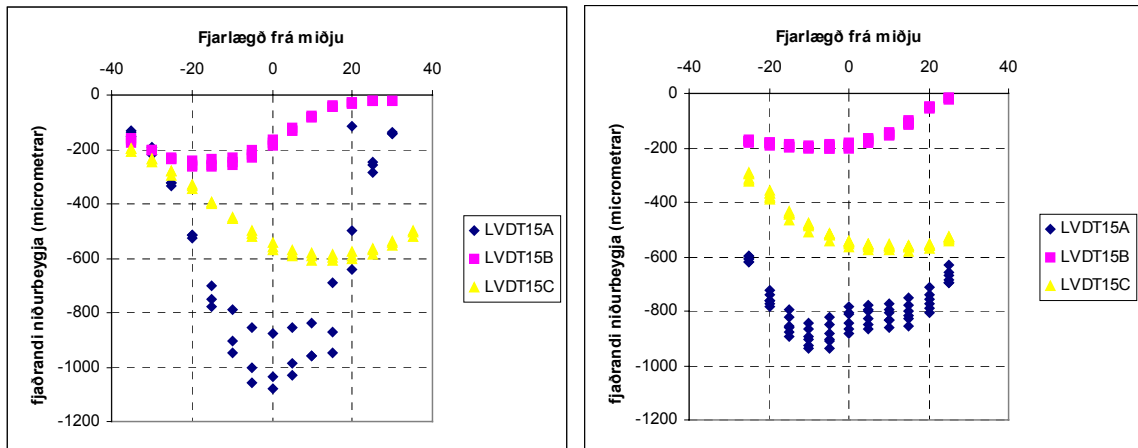
Á myndum 19 og 20, eru sýnd dæmi um niðurstöður mælinganna, annars vegar sem fall af álagi og hins vegar sem fall af staðsetningu hjóla þvert á akstursstefnuna. Á myndunum kemur fram að mælir merktur “B” sýnir minna útslag en mælir merktur “C”, en það er ekki í samræmi við staðsetningu þeirra í veghlotinu, eins og áður hefur verið vikið að.

Ef niðurbeygja er skoðuðu sem fall af álagi (mynd 19), sést að niðurbeygja eykst með auknu álagi. Hins vegar er ekki munur á mælum “B” og “C” hvort sem um er að ræða einfalt eða tvöfalt hjól. Niðurbeygja undan einföldu hjóli mælist aftur á móti meiri (sem svarar um 0,1-0,2 mm) en undan tvöföldu hjóli, í mæli “A” (sem er í 10,5 cm dýpi undir yfirborði klæðingarinnar).

Ef mynd 20 er skoðuð, sést að niðurbeygjur mæla “B” og “C” eru svipaðar fyrir hvora hjólagerð fyrir sig, en erfiðara er að bera mælingar fyrir mæli “A” saman, þar sem mikil dreifing er í niðurstöum fyrir einfalt hjól. Á mynd 20 sést líka að mælur “B” og “C” eru ekki á miðlínu. Það er í samræmi við staðsetningu mælanna eins og hún var gefin upp af Svíum. Mælir “B” er í stöðu –18 cm og mælir “C” í stöðu +13 cm.



Mynd 19: Fjaðrandi niðurbeygja mæla LVDT15A, LVDT15B og LVDT15C, til vinstri undan einföldu hjóli í stöðu 0, til hægri undan tvöföldu hjóli í stöðu 0 og –15 tekið saman. (Ath. að við mælingar fyrir 60 kN álag á einfalt hjól, er hraðinn 8 km/klst í stað 12 km/klst í öðrum tilvikum).

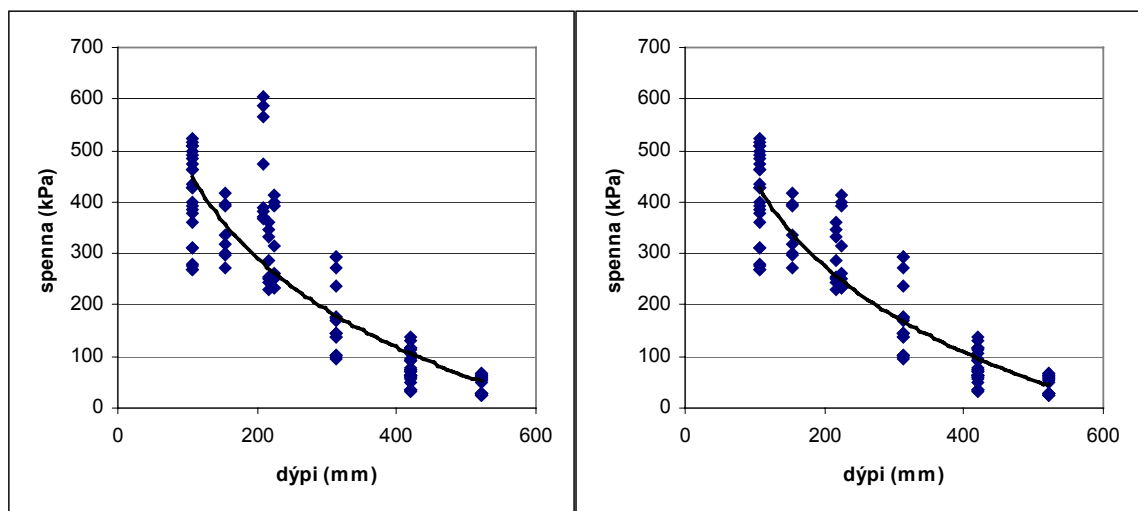


Mynd 20: Fjarðrandi niðurbeygjur mæla LVDT15A, LVDT15B og LVDT15C undan álagi sem dreifist þvert á akstursstefnuna, til vinstri undan einföldu hjóli, til hægri undan tvöföldu hjóli. Álag er ávallt 60 kN, en loftþrýstingur er mismunandi sem skýrir dreifingu niðurstaðna hjá einstaka mælum, einkum LVDT15C.

3.1.3 Spennumælur (SPC)

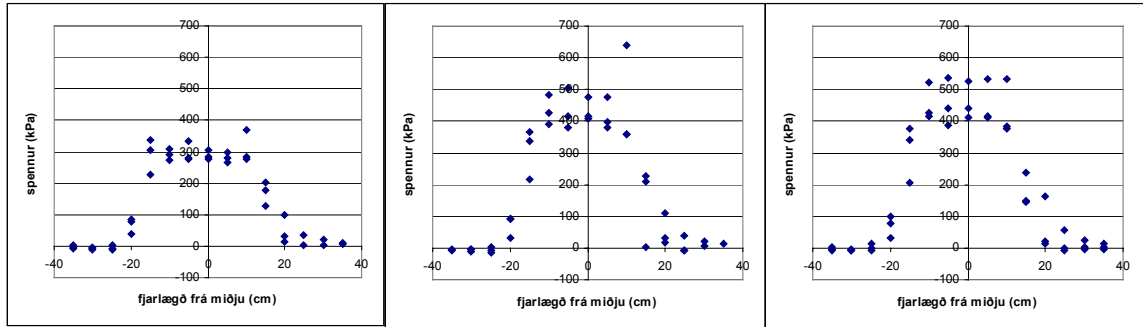
Eins og fram kemur á mynd 2 voru alls 14 spennumælur í veghlotinu. Á skilum milli laga eru alltaf þrjár mælur, en svo er einum til tveimur mælum bætt inn þar á milli og einnig ofan í undirbyggingunni.

Það er af ýmsu að taka þegar niðurstöður eru skoðaðar og hér verða aðeins sett fram dæmi. Á mynd 21 eru sýndar niðurstöður spennumælinga undan einföldu hjóli allra mællanna sem fall af dýpi. Niðurstöðurnar virðast að mestu eðlilegar, þó dreifing þeirra bendi til að ekki sé marktækur munur á milli mældrar spennu í yfirborði óbundna hluta efra burðarlagsins (c.a. 100 mm dýpi) og yfirborði styrktarlags (c.a. 200 mm dýpi).

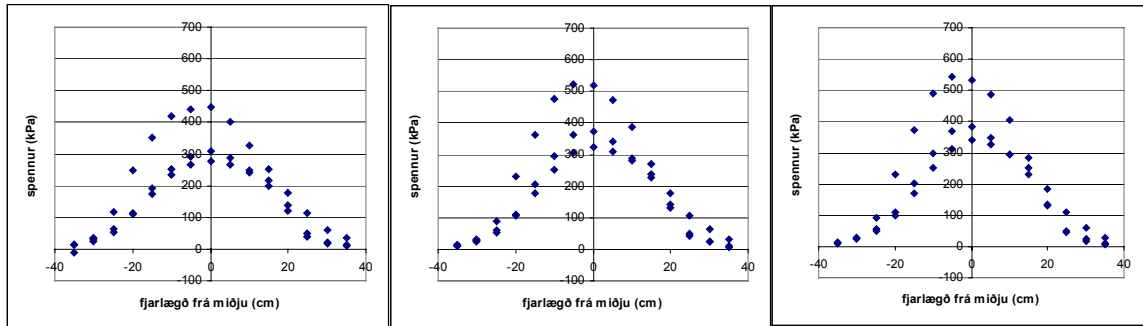


Mynd 21: Spennur sem orsakast af álagi einfalds hjóls í stöðu 0, sem fall af dýpi. Allar mælingar (mismunandi loftþrýstingur og álag). Sýndar eru niðurstöður einstakra mæla, til vinstri eru allir mælur með, en mælir 57 sker sig úr (hann er í dýpi c.a. 200 mm á yfirborði styrktarlags). Til hægri er mæli 57 sleppt.

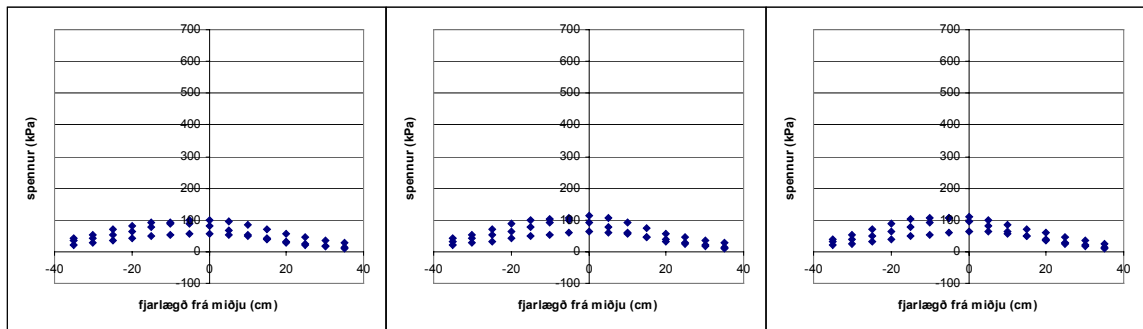
Á myndum 22, 23 og 24 er sýnd spennudreifing undan einföldu hjóli þvert á akstursstefnu þess. Af myndunum má m.a. ráða að áhrif loftþrýstings minnka með dýpi.



Mynd 22: Spenna sem fall af stöðu einfalds hjóls þvert á akstursstefnu, í c.a. 11 cm dýpi (á yfirborði óbundna hluta efra burðarlags). Sýndar eru niðurstöður einstakra mæla og mælir nr. 59 sker sig aðeins úr. Frá vinstri til hægri 500 kPa, 800 kPa og 900 kPa loftþrýstingur í dekki.

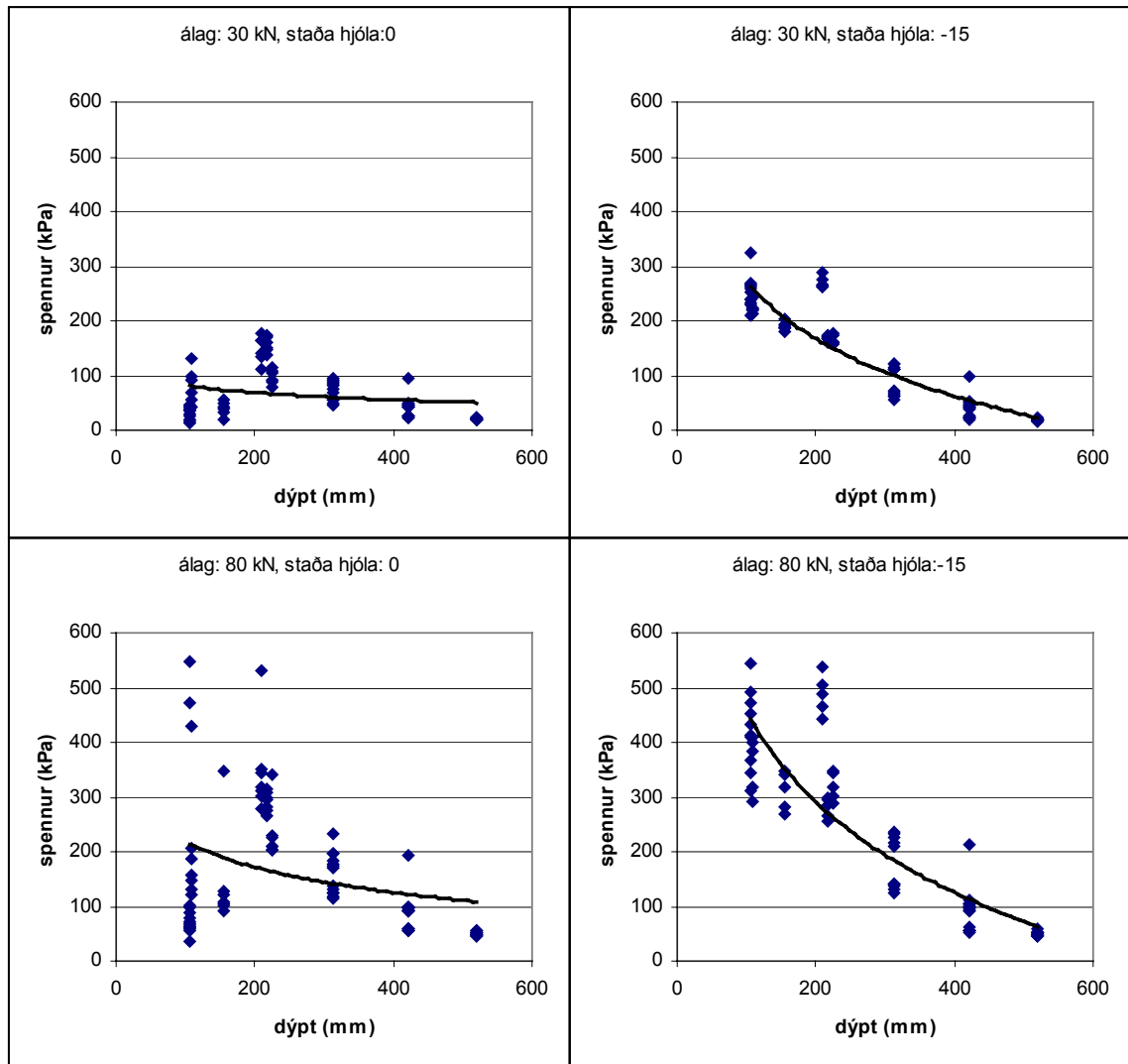


Mynd 23: Spenna sem fall af stöðu einfalds hjóls þvert á akstursstefnu, í c.a. 21 cm dýpi (á yfirborði styrktarlags). Sýndar eru niðurstöður einstakra mæla og mælir 57 sker sig úr (sjá einnig **Mynd 21**). Frá vinstri til hægri 500 kPa, 800 kPa og 900 kPa loftþrýstingur í dekki.



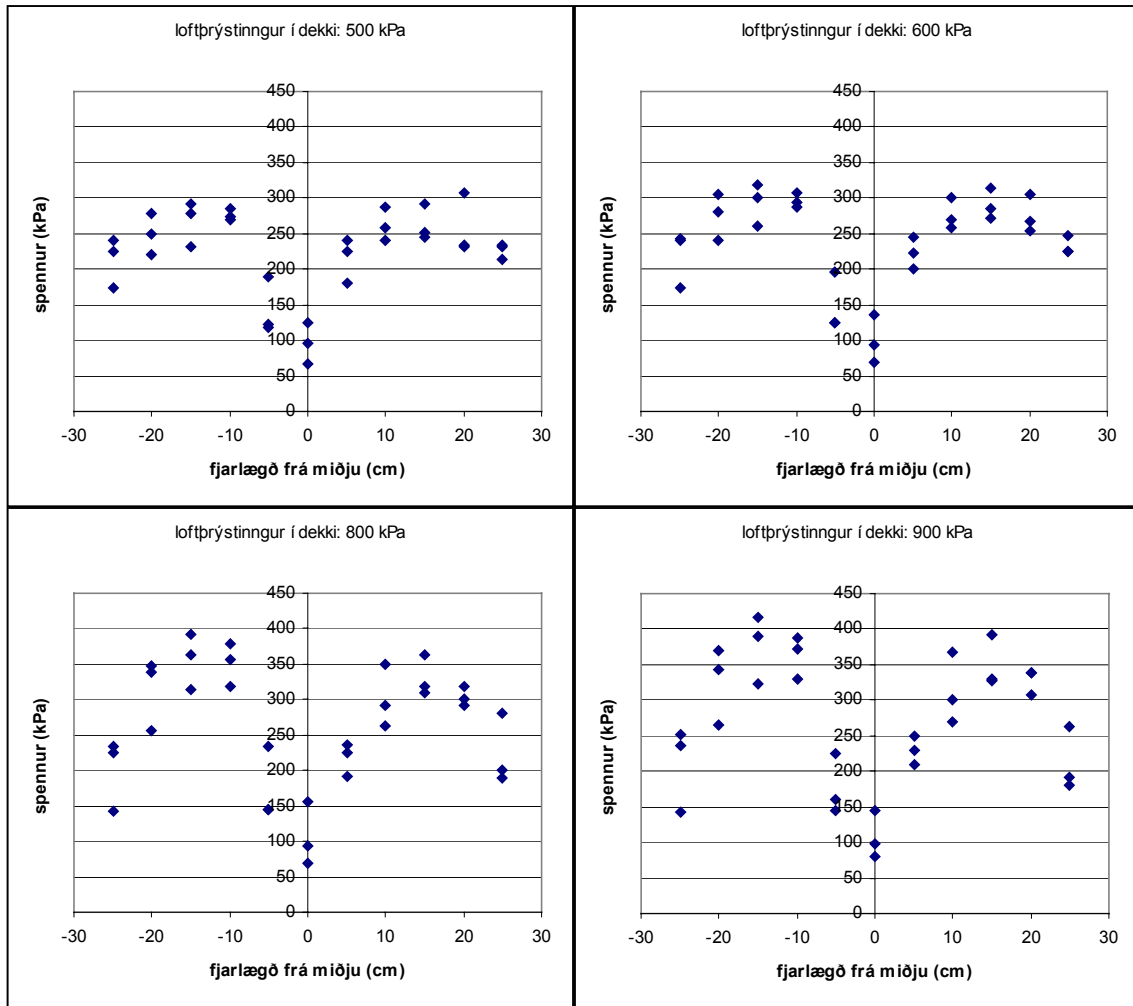
Mynd 24: Spenna sem fall af stöðu einfalds hjóls þvert á akstursstefnu, í c.a. 41 cm dýpi (á yfirborði undirbyggingar). Frá vinstri til hægri 500 kPa, 800 kPa og 900 kPa loftþrýstingur í dekki. Sýndar eru niðurstöður einstakra mæla.

Á mynd 25, eru spennur sýndar sem fall af dýpi fyrir mismunandi álag á parhjól. Sjá má að þegar mælur eru mitt á milli hjólanna (hjól í stöðu 0), þá eru spennur efst í veghlotinu svipaðar og þegar neðar dregur. Svo virðist sem áhrif af hvoru hjóli um sig séu minni samanlagt í efstu lögnum, en þegar annað hjólið er nálægt því að vera yfir mælunum (staða -15). Stærðargráða spennu í stöðu -15 er svipuð og við álag einfalds hjóls (sjá mynd 21).

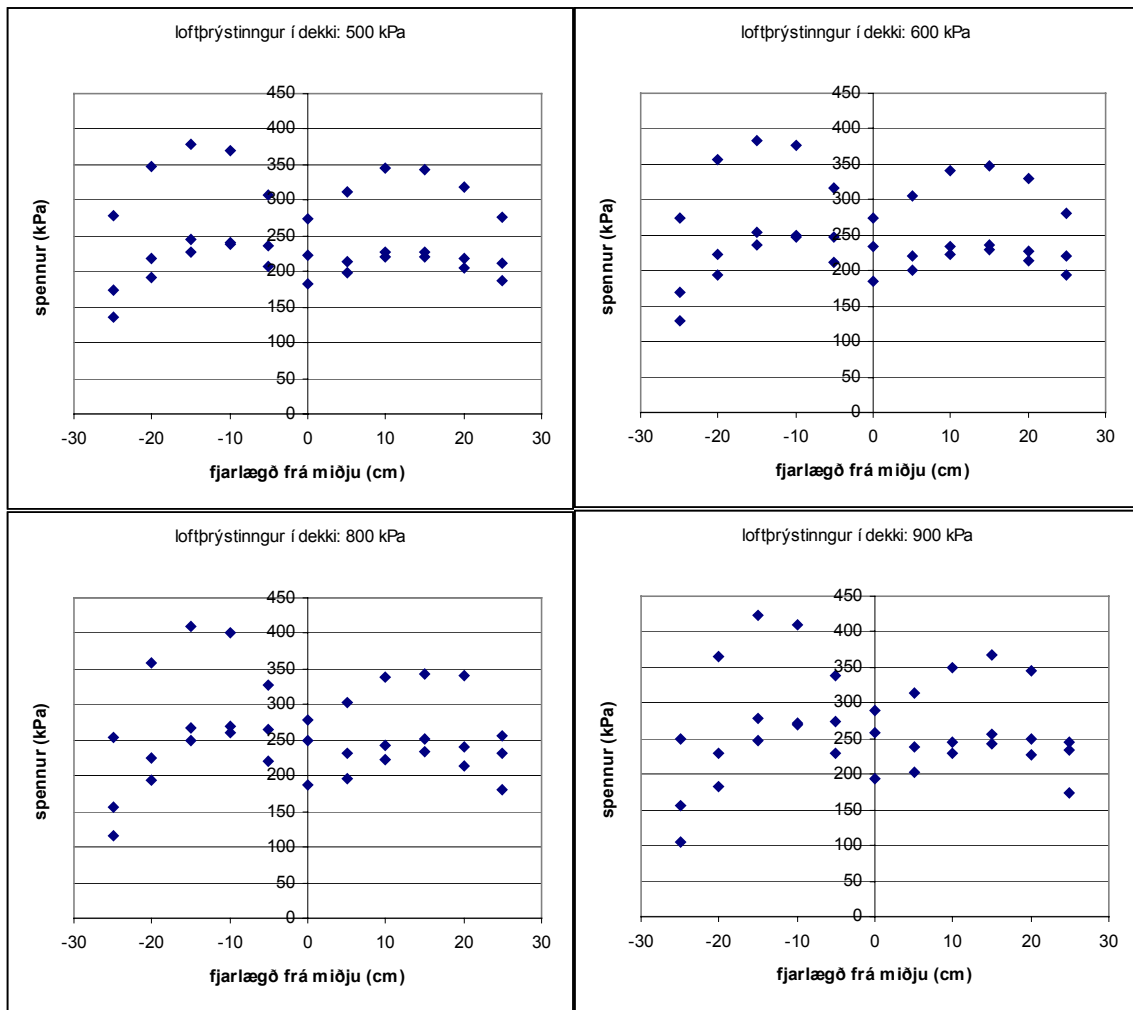


Mynd 25: Spennur sem fall af dýpi, fyrir mismunandi álag og stöðu parhjóla (í stöðu 0 eru mælar mitt á milli hjóla, en í stöðu -15 eru þeir nálægt því að vera undir öðru hjólinu). Loftþrýstingur í dekkjum er breytilegur. Sýndar eru niðurstöður einstakra mæla.

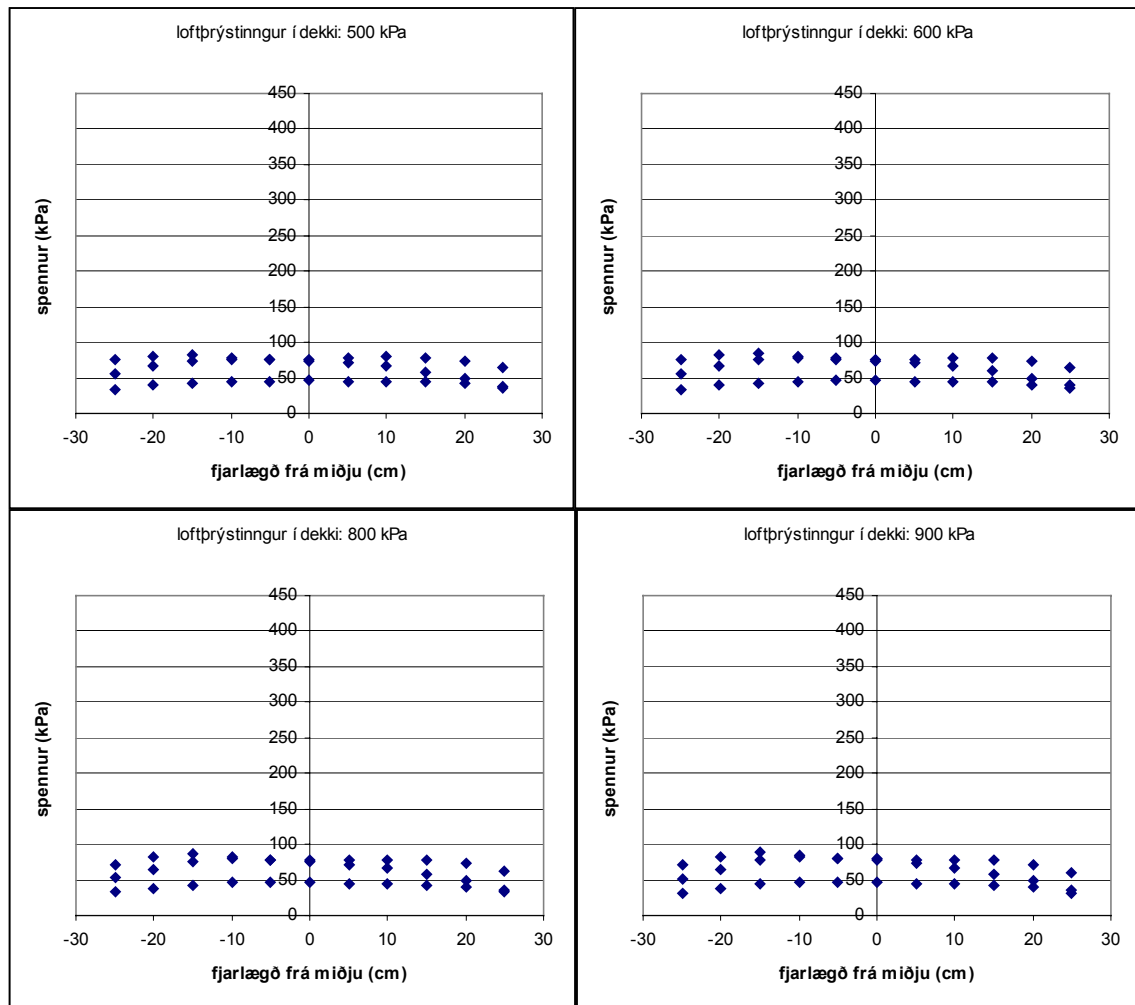
Á myndum 26, 27 og 28 eru sýndar spennur sem fall af staðsetningu tvöfalda hjóls þvert á akstursstefnunna. Mælingar við þessar aðstæður voru gerðar við c.a. 10°C hita, en einnig við c.a. 0 og 15°C. Á myndunum er síðarnefndu mælingunum sleppt. Á myndunum má sjá að loftþrýstingur hefur áhrif á niðurstöður í efri hluta veghlotsins, en nánast engin þegar komið er niður í yfirborð undirbyggingar. Í yfirborði styrktarlags, sker einn mælir (þ.e. mælir 57) sig úr, sjá mynd 27.



Mynd 26: Spennur í c.a. 11 cm dýpi (á yfirborði óbundna hluta efra burðarlags), sem fall af staðsetningu parhjóla, þvert á aksturstefnu. Einungis mælingar við 10°C eru með. Sýndar eru niðurstöður einstakra mæla.

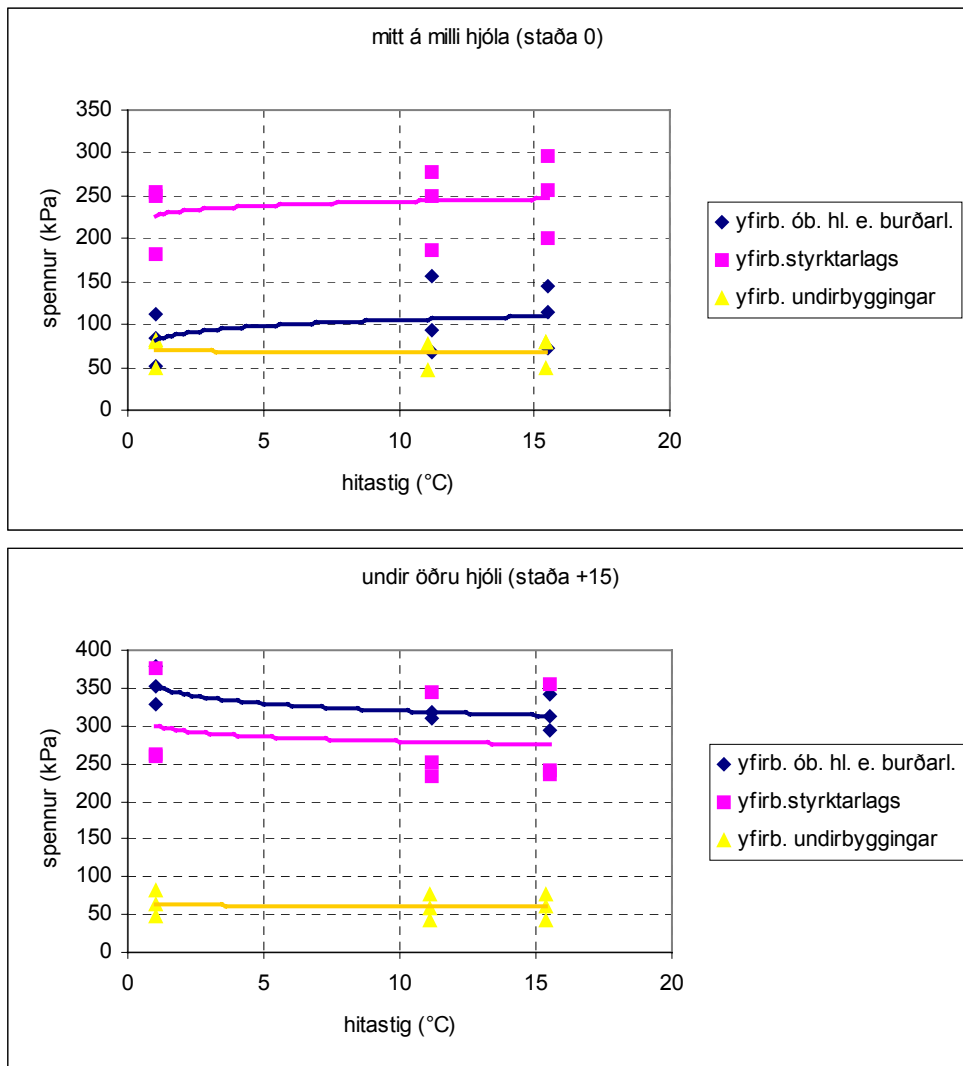


Mynd 27: Spennur í c.a. 21 cm dýpi (á yfirborði styrktarlags), sem fall af staðsetningu parhjóla, þvert á aksturstefnu. Einungis mælingar við 10°C eru með. Sýnar eru niðurstöður einstakra mæla og einn mælir (mælir 57) sker sig nokkuð frá hinum tveimur.



Mynd 28: Spennur í c.a. 41 cm dýpi (á yfirborði undirbyggingar), sem fall af staðsetningu parhjóla, þvert á akstursteffnu. Einungis mælingar við 10°C eru með. Sýndar eru niðurstöður einstakra mæla.

Á mynd 29 er sýnt hvaða áhrif hitastig hefur á spennumælingarnar. Eins og fram kemur á línuritunum, virðist sem spennan aukist með auknu hitastigi mitt á milli hjólanna, í yfirborði óbundna hluta efra burðarlagsins og yfirborði styrktarlagsins. Hins vegar eru áhrifin nánast engin á yfirborði undirbyggingarinnar. Þegar ástandið er skoðað u.þ.b. undir öðru hjóli, snýst dæmið við fyrir efri tvö lögin, en áhrifin eru enn óbreytt á undirbyggingunni.



Mynd 29: Samband hitastigs og mældrar spennu, undan tvöföldu hjóli. Í yfirborði styrktarlags er einn mælir (mælir 57) sem sker sig nokkuð úr (sýnir meiri spennur).

3.1.4 Lóðrétt streita á mismunandi stöðum (EMU-coils)

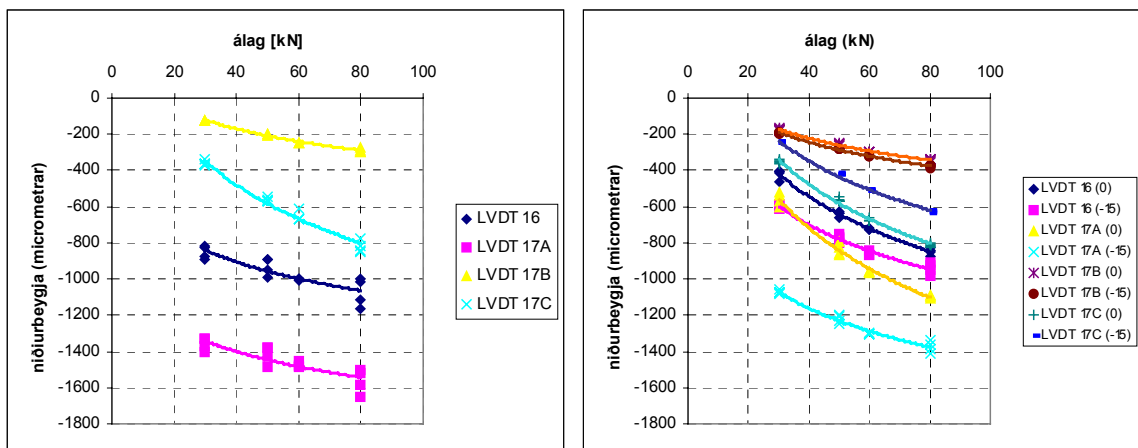
Tveir EMU-coils mælir eru í veghloti IS01, sjá mynd 2. Við mælingar var aðeins skráð statískt gildi (sem hægt er að nota til að reikna fjarlægð milli spóla við upphaf mælinga og streitu í framhaldi af því, sjá viðauka II) fyrir mælingar parhjóls, álagstilvik P21 til P32, sjá töflu 1. Það er því ekki hægt að skoða svörun mælanna fyrir önnur álagstilvik. Niðurstöður til að skoða eru því afar fátæklegar auk þess sem þær eru í mörgum tilvikum fremur vafasamar.

Mælir EMU2 (sem á að mæla streitu í efstu 10 cm sandlagsins, samanber mynd 2), sýnir 350 til 400 microstrain fyrir 30 kN álag, svipað hvort sem hjólið er í stöðu 0 eða -15. Við 80 kN álag mælist streitan hins vegar að meðaltali um 800 microstrain. Mælingarnar eru annars vegar gerðar við 1°C hita og hins vegar 15.5°C og virðist vera aðeins minni streita við hærri hitastig, þó munur sé ekki mikill. Mælingar frá mæli EMU3 eru ekki áreiðanlegar.

3.2 Mæligön frá veghloti: IS02

3.2.1 Niðurbeygjumælur (LVDT)

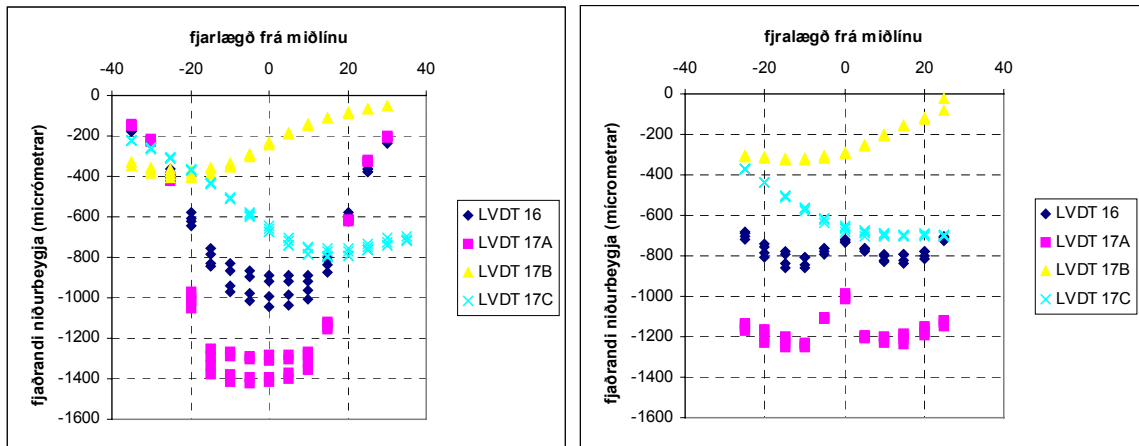
Á mynd 30 eru sýndar niðurstöður niðurbeygjumælingar sem fall af álagi, annars vegar undan einföldu hjóli í stöðu 0 og hins vegar undan tvöföldu hjóli í stöðu 0 og –15. Almennt gildir hér áður fram komin athugasemd, að mælur merkti “B” og “C” sýna ekki niðurstöður innbyrðis í samræmi við ætlaða staðsetningu þeirra í veghlotinu. Ef niðurstöður undan einföldu hjóli eru skoðaðar, sést einnig að mælir 16 sýnir mun minni niðurbeygju en mælir 17A, þó þeir séu nánast í sömu dýpt (sjá mynd 4). Skýringin er áður komin fram og er sú að mælir 16 var settur í málmplötu, með það í huga að hann svaraði niðurbeygju klæðingarinnar betur. Hins vegar hefur platan þau áhrif að niðurbeygja klæðingarinnar mælist of lítil á þessum stað. Mælir 17A gefur því trúlega raunhæfari mynd. Sé niðurbeygja undan parhjóli á mynd 30 skoðuð nánar, kemur ýmislegt í ljós. Til dæmis er ljóst að áhrif staðsetningar hjólanna minnkar eftir því sem neðar dregur í veghlotið (að því gefnu að mælir 17B sé neðstur)³, en hins vegar er talsverður munur á hvort mælur eru á milli hjóla (hjól í stöðu 0) eða hvort annað hjól er yfir mælinum, þegar ofar dregur, eins og sést ef mælir 17A er skoðaður. Þessi munur kemur ekki eins vel í ljós í mæli 16 og að mati skýrsluhöfundar, styður það þá kenningu að platan sem mælirinn er í hafi áhrif til að minnka niðurbeygjuna á þessum stað.



Mynd 30: Mesta niðurbeygja, til vinstri undan einföldu hjóli í stöðu 0, til hægri undan tvöföldu hjóli í stöðu 0 og –15 (skráð innan sviga) (Athugað skal að mælingar við 60 kN álag eru gerðar við hraða 2, 4 og 8 km/klst í stað 12 km/klst í öðrum tilvikum).

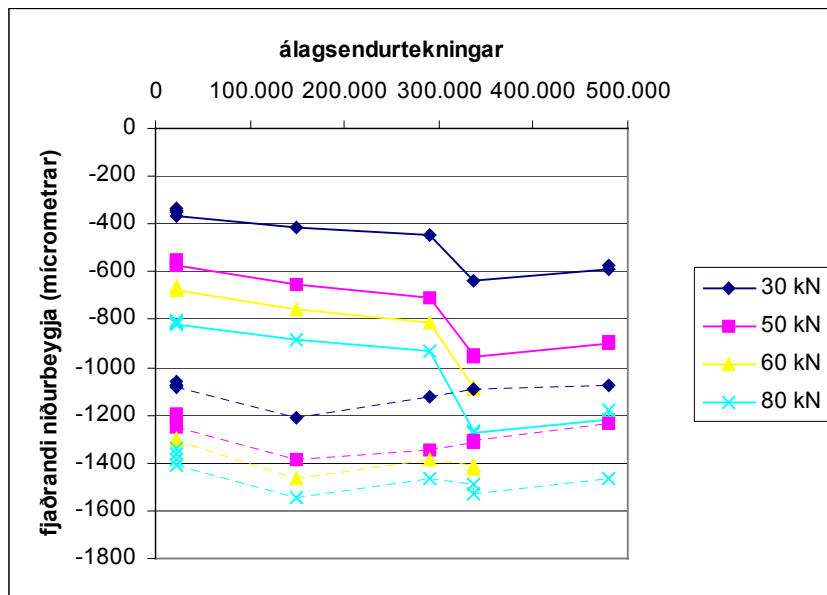
Á mynd 31, er sýnd niðurbeygja undan álagi sem dreifist þvert á akstursstefnuna. Eins og áður sýnir mælir 16 heldur minna útslag en mælir 17A, vegna málmplötunnar sem sá fyrrnefndi er settur í. Annars eru niðurstöðurnar svipaðar fyrir einfalt og tvöfalt hjól.

³ Rétt er að taka fram að mælir 17C er í stöðu +22 cm, þannig að þegar hjól er í stöðu –15, er annað þeirra yfir miðlínu, en hitt nálægt því að vera beint yfir mæli 17B, sem er í stöðu –23 cm (staðsetningu mæla má sjá í heimild [1]).



Mynd 31: Fjaðrandi niðurbeygja undan álagi sem dreifist þvert á akstursstefnu, til vinstri undan einföldu hjóli og til hægri undan tvöföldu hjóli. Í báðum tilvikum eru niðurstöðurnar fyrir mælingar áður en aðalkeyrslur hófust, en fyrir tvöfalt hjól var einnig mælt þegar keyrslum lauk (þær niðurstöður eru ekki sýndar hér). Álag er ávallt 60 kN, en loftþrýstingur mismunandi sem skýrir dreifingu í niðurstöðum fyrir hvern mæli. Á myndinni sést að hæstu gildin fyrir mæla 17B og 17C fast til hliðar við miðlínu, í samræmi við staðsetningu þeirra (17B í stöðu -23 cm og 17C í stöðu +22 cm).

Á mynd 32 er sýnt dæmi um hvernig niðurbeygjumæling breytist sem fall af álagsendurtekningum. Myndin sýnir gögn fyrir mæli LVDT 17C, en við reiknum með að hann sé í 20 cm dýpi. Einnig eru sýndar niðurstöður fyrir mæli LVDT 17A, sem er í yfirborði efra burðarlags (mælir í yfirborði (LVDT 16) féll út eftir upphafsmælingar, þannig að ekki eru til niðurstöður fyrir hann). Niðurbeygjan er háð álaginu, og í 20 cm dýpi eykst hún með fjölda álagsendurtekninga. Þar verður einnig vart við aukningu þegar vatn kemur í gryfjuna. Sú aukning kemur ekki fram í yfirborði efra burðarlags við 30 og 50 kN álag, en verður vart við 60 og 80 kN álag. Í öllum tilvikum mælist niðurbeygja í lok minni en þegar vatnið var sett í gryfjuna. Hugsanleg skýring á því er að sandurinn þenst út við vatnið kemur í hann og síðan þjappast hann aftur við álagsendurtekningarnar.



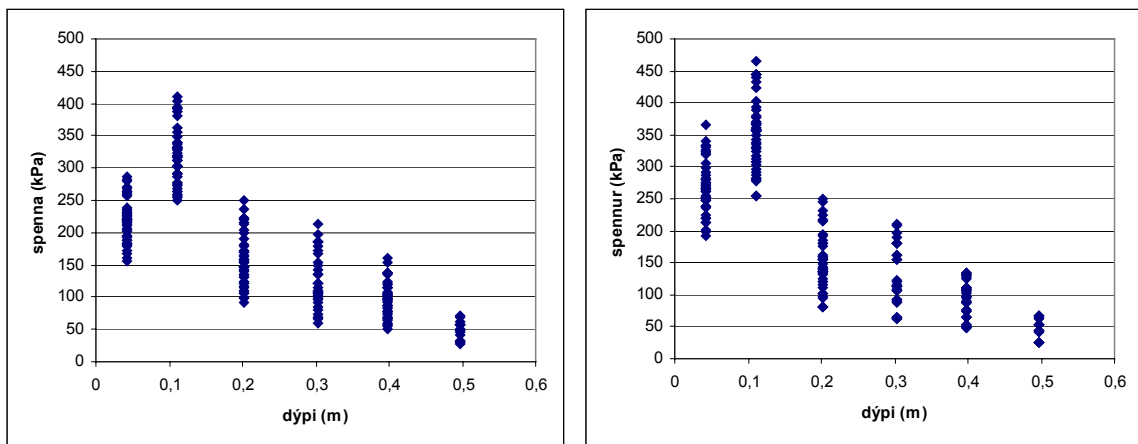
Mynd 32: Linurit sem sýnir fjaðrandi niðurbeygjumælingar sem fall af fjölda álagsendurtekninga hjól í stöðu 0. Heilar línur eru fyrir mæli LVDT 17C (20 cm dýpi), strikalinur fyrir mæli LVDT 17A, sem er í yfirborði efra burðarlags.

3.2.2 Spennumælar (SPC)

Eins og fram kemur á mynd 4 eru alls 16 spennumælar í veghloti IS02. Það er því af ýmsu að taka vaðandi athugun á niðurstöðum og hér verða því aðeins sett fram nokkur dæmi.

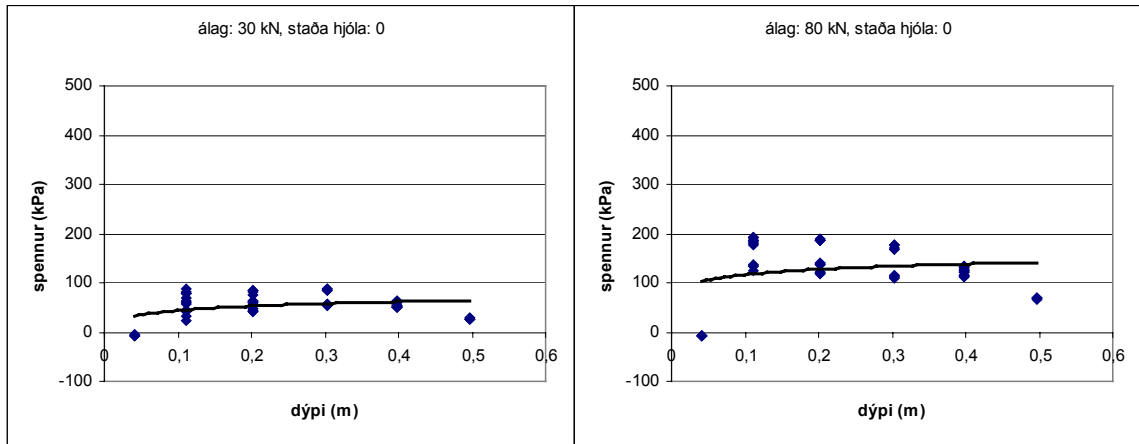
Á mynd 33, eru sýndar niðurstöður allra spennumæla sem fall af dýpi. Um er að ræða allar mælingar, sem skýrir dreifingu niðurstaðna í hverju dýpi fyrir sig. Annars vegar eru sýndar niðurstöður fyrir einfalt hjól og hins vegar tvöfalt hjól í stöðu –15, sem þýðir að mælarnir eru nánast beint undir öðru hjólinu. Ef myndirnar eru bornar saman, sést að í efri hluta uppbyggingarinnar mælist ögn meiri spenna undan tvöföldu hjóli, enda eru þar væntanlega áhrif af hinu hjólinu að einhverju leyti. Þegar neðar dregur er munurinn minni.

Athygli vekur, á mynd 33 að spennur mælast hærrí í um 10 cm dýpi, en ofar í veghlotinu. Þetta hefur verið rætt áður í þessari skýrslu, sjá kafla 3 og viðauka IV. Eins og fram kemur í viðauka IV bendir margt til þess að niðurstöður spennumælinga í 5 cm dýpi séu of lágar.



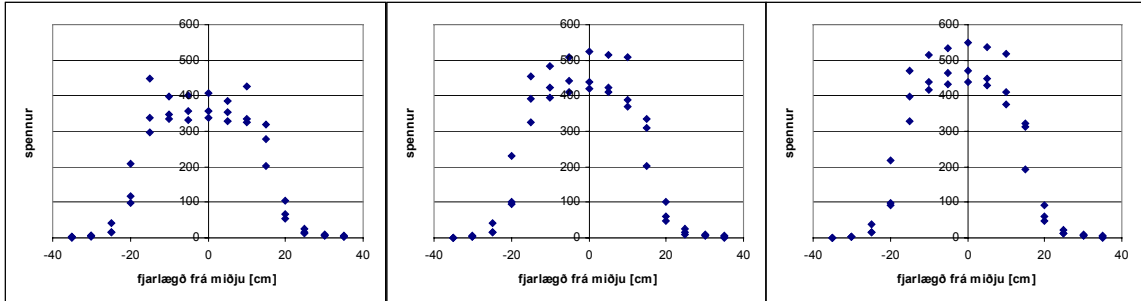
Mynd 33: Spennur sem fall af dýpi. Til vinstri undan einföldu hjóli í stöðu 0, til hægri undan tvöföldu hjóli í stöðu –15 (undir öðru hjólinu). Allar mælingar, þ.e fyrir mismunandi loftþrýstingur og álag. Fyrir tvöfalt hjól eru aðeins sýndar niðurstöður fyrir mælingar sem voru gerðar eftir forálag, þ.e. fyrstu svörunarmælingar. Sýndar eru niðurstöður frá einstaka mælum á hverju dýpi.

Til samanburðar við mynd 33 þar sem sýndar eru niðurstöður mælingar undir öðru parhjólinu (stöðu –15), er athyglisvert að skoða mynd 34 sem sýnir niðurstöður mælinga þegar parhjólið er í stöðu 0, eða þegar mælar eru mitt á milli hjóla. Spennur mælast svípaðar í mismunandi dýpi og í miðju efra burðarlagi mælist neikvæð spenna (togspenna).

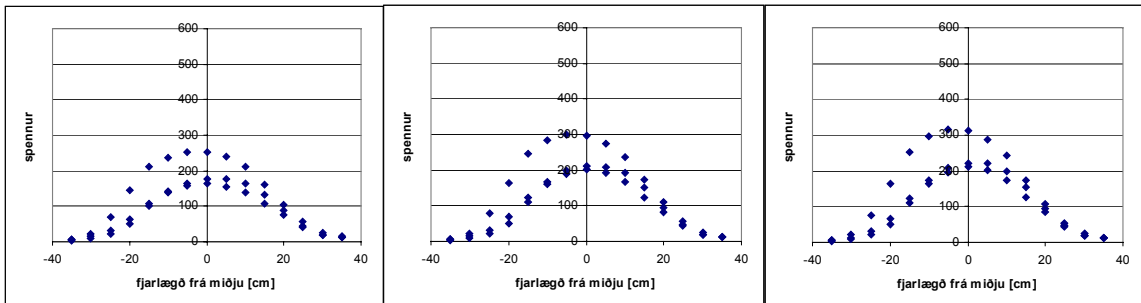


Mynd 34: Niðurstöður spennumælinga sem fall af dýpi, fyrir 30 og 80 kN álag parhjóls í stöðu 0, mælar eru mitt á milli hjóla. Loftþrýstingur er mismunandi. Niðurstöðurnar eru fyrir mælingar sem gerðar voru strax eftir forálagskeyrslur (upphafssvörunarmælingar). Sýndar eru niðurstöður fyrir einstaka mæla í hverju dýpi.

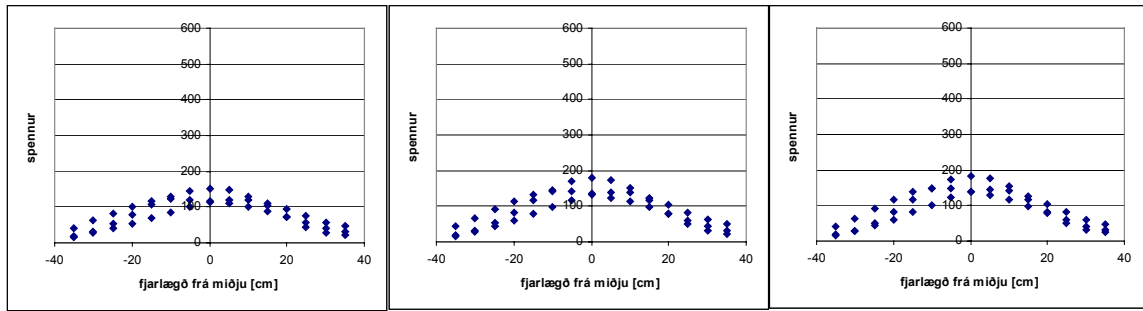
Á myndum 35, 36 og 37 eru sýndar spennur sem fall af stöðu einfalds hjóls, þvert á akstursstefnu, fyrir mismunandi dýpt í veghlotinu (úr gögnum er hér valið 11, 20 og 40 cm dýpi). Af myndunum má m.a. sjá að áhrif breytingar í loftþrýngi eru meiri ofarlega í veghlotinu, en þau eru nánast horfin þegar komið er niður í undirbygginguna (mynd 37). Þetta sést einnig vel á mynd 38, þar sem sýndar eru breytingar í spennu sem fall af loftþrýngi, í mismunandi dýpi fyrir einfalt hjól í stöðu 0. Á myndunum kemur einnig fram að nokkur mismunur er á milli gilda úr mismunandi mælum.



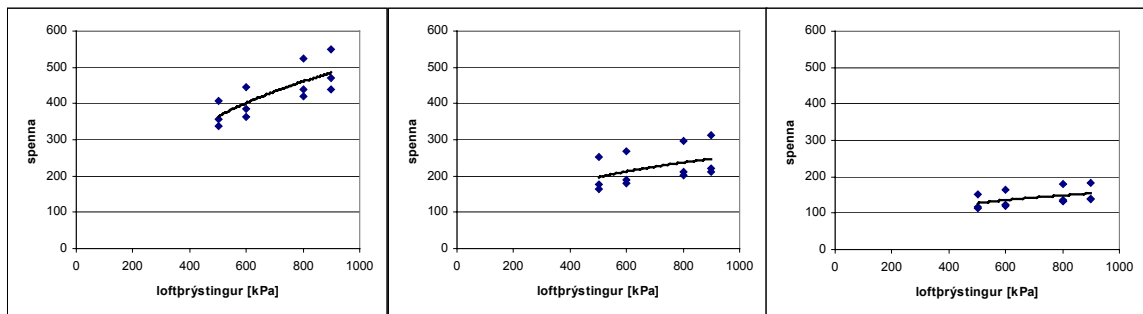
Mynd 35: Spenna sem fall af stöðu einfalds hjóls, þvert á akstursstefnu (þrjú mælar). Dýpi c.a. 11 cm (í miðju efra burðarlagi). Frá vinstri til hægri: 500 kPa, 800 kPa, 900 kPa loftþrýstingur í dekki.



Mynd 36: Spenna sem fall af stöðu einfalds hjóls, þvert á akstursstefnu (þrjú mælar). Dýpi c.a. 20 cm (á skilum efra og neðra burðarlags). Frá vinstri til hægri: 500 kPa, 800 kPa, 900 kPa loftþrýstingur í dekki. Einn mælir sýnir örlítið hærri spennur en hinir tveir.

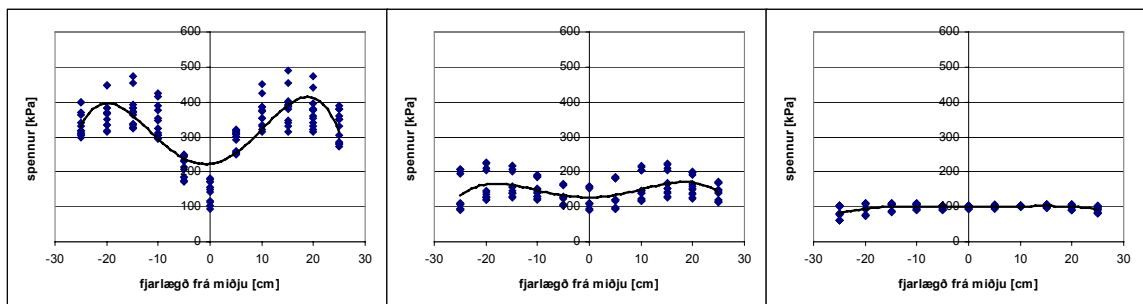


Mynd 37: Spenna sem fall af stöðu einfalds hjóls, þvert á akstursstefnu (þrjár mælar). Dýpi c.a. 20 cm (á skilum neðra burðarlags og sands). Frá vinstri til hægri: 500 kPa, 800 kPa, 900 kPa loftþrýstingur í dekki.



Mynd 38: Spenna sem fall af loftþrýstingi í dekki, einfalt hjól í stöðu 0, mismunandi dýpi (þrjár mælar). Frá vinstri til hægri: 11 cm, 20 cm, 40 cm dýpi.

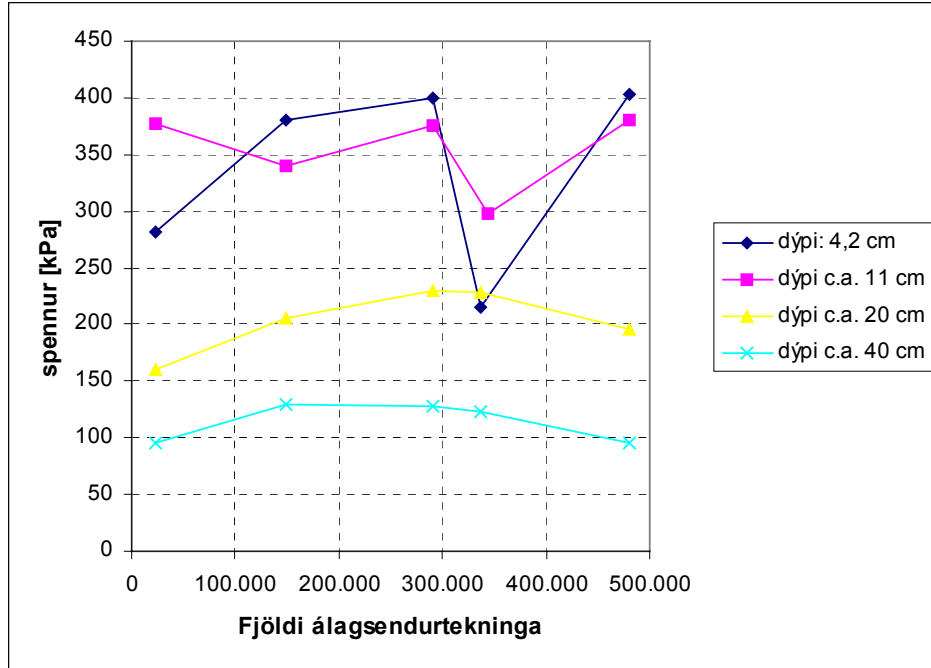
Á mynd 39 er sýnd mæld spenna sem fall af staðsetningu parhjóla þvert á akstursstefnu. Sýndar eru niðurstöður fyrir mismunandi dýpi. Dreifing niðurstaðna í 11 cm dýpi, er m.a. vegna mismunandi loftþrýstings í dekkjum, en áhrif loftþrýstingsins eru greinilega minni þegar neðar dregur (punktarnir liggja þéttar saman).



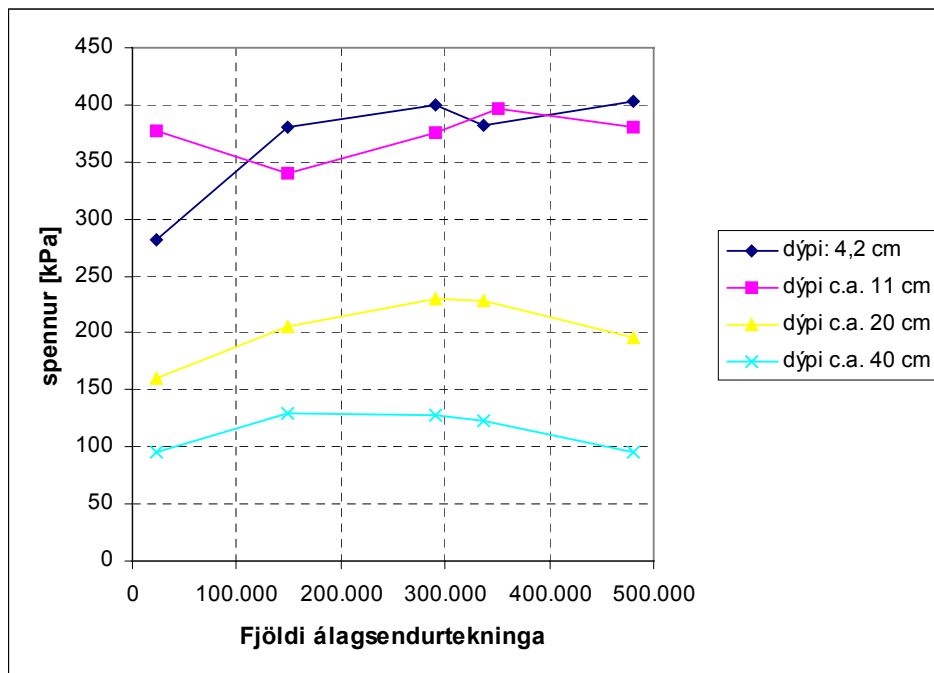
Mynd 39: Spenna á mismunandi dýpi (þrjár mælar á hverju dýpi, sjá **Mynd 3**), sem fall af staðsetningu hjóla þvert á akstursstefnu. Frá vinstri til hægri: dýpi c.a.: 11 cm, 20 cm, 40 cm. Álagið er alltaf 60 kN, en loftþrýstingur í dekki er breytilegur. Bætt er inn á myndina 4 gráðu margliðunálgun mælipunktanna sem sýndir eru .

Á mynd 40, er sýnt hvernig niðurstöður spennumælinga breytast við álagsendurtekningar. Við um 330.000 endurtekningar, var sett vatn í gryfjuna. Fyrstu mælingar þar á eftir virðast hafa verið vafasamar. Þeim hefur verið hent út úr gangasafninu fyrir mæla í 20 og 40 cm dýpi, en eru enn með fyrir mælana sem eru í 4,2 og 11 cm dýpi eins og sést á myndinni. Ef niðurstöður í dýpi 20 og 40 cm eru skoðaðar sér, kemur í ljós að spennur eru að aukast sem fall af endurtekningum (efnið að þjappast?), þar til vatnið kemur í gryfjuna. Þá byrja þær að falla aftur. Við mælingar ofar í uppbyggingunni, mælast spennur strax eftir að vatn kemur í uppbygginguna um

fjórum sinnum minni en í næstu mælingum þar á eftir. Hugsanlega eru mælingarnar vafasamar og ætti að henda þeim út á sama hátt og fyrir mæla dýpra í uppbyggingunni. Á mynd 41 eru sýndar niðurstöður þegar mælingum fyrst á eftir að vatni er hleypt á gryfjuna er sleppt. Þróun spennu sem fall af álagsendurtekningum fer þá að verða svipuð og dýpra í veghlotinu.



Mynd 40: Spennur sem fall af fjölda álagsendurtekninga meðaltal mæla í mismunandi dýpi, fyrir mismunandi álag, en 800 kPa loftþrýsting í dekki. Parhjól í stöðu -15 (þannig að annað hjólið er nánast yfir mælunum).



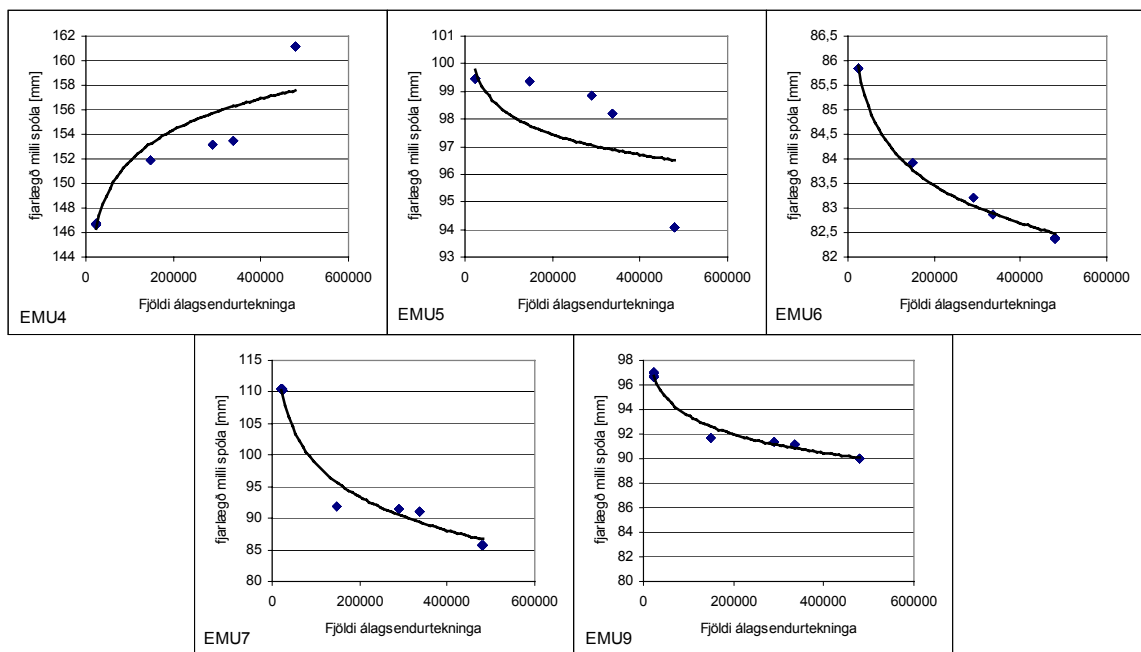
Mynd 41: Sama og mynd 40, nema búið að fella burtu mælingar sem gerðar voru strax eftir að vatn var sett í gryfjuna.

3.2.3 Lóðrétt streita á mismunandi stöðum (EMU-coils)

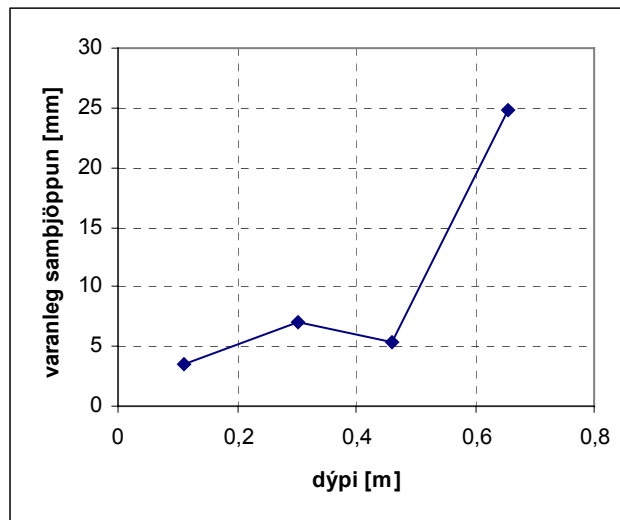
Eins og fram kemur á mynd 4, voru alls 6 EMU-coils mælar í veghloti IS02. En í viðauka III kemur fram að aldrei voru skráð nein merki frá mæli nr. 8. Einnig kemur fram í viðauka III að talsverð óvissa er um merki frá ýmsum öðrum mælum í ýmsum tilvikum. Það verður því að sýna varkárni í túlkun niðurstaðna frá þessum mælum.

Á mynd 42 sést hvernig fjarlægð milli spólanna í EMU-coils mælunum breytist við fjölda álagsendurtekninga (sjá viðauka II um EMU-coils mæla). Eðlilegast er að gera ráð fyrir að efnið þjappist við aukinn fjölda álagsendurtekninga og fjarlægð milli spóla minnki. Það vekur því strax athygli að fyrir mæli nr 4 (EMU4) er fjarlægð á milli spólanna að aukast. Mæld fjarlægð milli spólanna fyrir mæli 4 er að auki mun meiri en miðað var við þegar mælarnir voru settir niður. Þá var gert ráð fyrir um 10 cm bili, en það mælist yfir 14 cm. Vegna þessa er talið réttast að skoða ekki mælingar frá EMU4 frekar. Á myndinni sést líka að mælir EMU5 (efst í sandlaginu) hegðar sér öðru vísi en hinir, þannig að samþjöppun byrjar hægt en eykst svo. Við skoðun á myndunum verður ekki séð að breyting verði sérstaklega þegar vatn er sett í gryfjun (við um 330.000 endurtekningar).

Á mynd 43 er sýnt hvernig varanleg samþjöppun hinna mismunandi mæla á mynd 42 kemur fram, ef hún er skoðuð sem fall af dýpi (miðað við áætlaða stöðu mitt á milli mæla, sjá mynd 4). Samkvæmt þessu er varanleg samþjöppun neðsta mælis niðri í sandinum (mælir EMU7) lang mest, meðan hún er svipuð fyrir hina mælana þó minnst fyrir mælinn sem liggur efst (mælir EMU6 c.a. í miðju efra burðarlagi). Á mynd 42 sést að lang mest af samþjöppun sem EMU7 sýnir, er frá upphafsmælingum og við mælingar eftir um 150.000 endurtekningar, hugsanlega er einhver skekkja í því. Þessi atriði er vert að hafa í huga þegar aðrar niðurstöður frá þessum mælum eru skoðaðar, þær kunna að vera óáreiðanlegar.

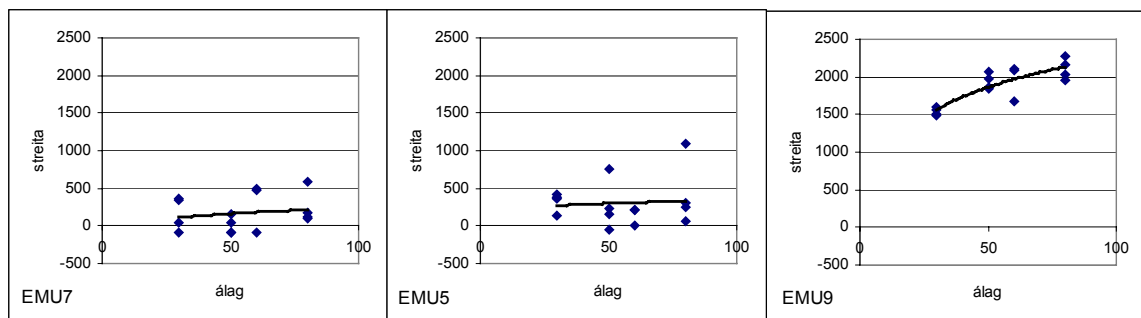


Mynd 42: Samband fjölda álagsendurtekninga og fjarlægðar milli spóla, fyrir mismunandi EMU-coils mæla. Fjarlægðin er fengin út frá státskri mælingu á spennu, í upphafi hverrar svörunarmælingar. (Ath skalinn á y-ás er mismunandi fyrir mismunandi mæla).



Mynd 43: Samband dýptar og varanlegrar samþjöppunar eftir 480.000 álagsendurtekningar, sem mælist hjá mismunandi mælum og sýnd er á mynd 42.

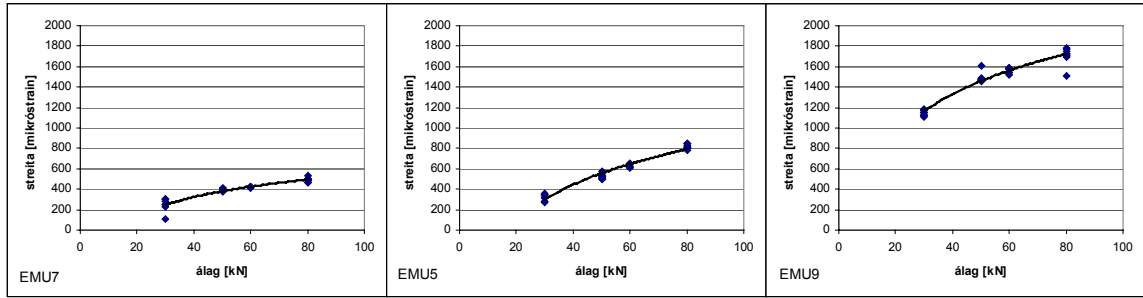
Samband streitu, mældri með EMU-coils undan einföldu hjóli, og álags er sýnt á mynd 44. Niðurstöður fyrir mæla EMU7 og EMU5, sem eru niðri í sandlaginu, benda ekki til að samband sé á milli stærðanna. Mælir EMU9 (í miðju neðra burðarlagi) sýnir mesta streitu og streitan eykst með auknu álagi. Mæli EMU6 í miðju efra burðarlagi er sleppt, þar sem skráðar niðurstöður eru fáar og virðast óáreiðanlegar.



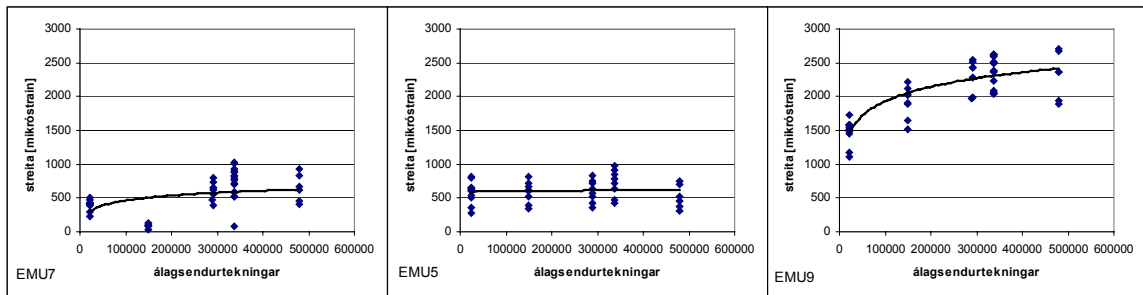
Mynd 44: Samband álags og streitu mælt með mæli EMU-9 (í miðju neðra burðarlagi IS02). Einfalt hjól í stöðu 0, loftþrýstingur breytilegur, sem skýrir dreifingu niðurstaðna.

Á mynd 45 er sýnt samband álags tvöfalds hjóls og streitu mældri með þremur af EMU-coils nemunum. Á myndinni eru teknar saman mælingar fyrir hjólið í stöðu 0 og -15 , þar sem staðan skiptir nánast engu máli fyrir niðurstöðurnar í neðra burðarlaginu og þar fyrir neðan. Mælir EMU6 í miðju efra burðarlaginu sýnir ekki eðlilegar niðurstöður og því er honum einnig sleppt hér. Samkvæmt myndinni hefur álag áhrif á streituna í mismunandi dýpi og eru áhrifin meiri ofar í veghlotinu. Einnig kemur fram að streitan í miðju neðra burðarlaginu mælist tvisvar til þrisvar sinnum meiri en streitan ofan í sandlaginu, miðað við sama álag. Séu myndir 45 og 46 bornar saman, sést að streita í miðju neðra burðarlagi (EMU9), mælist meiri undan einföldu hjóli en tvöföldu.

Á mynd 46 er sýnt hvaða áhrif endurtekið álag frá tvöföldu hjóli hefur á streitumælingarnar. Svo virðist sem það hafi lítil áhrif á streituna í sandlaginu, en í miðju neðra burðarlagi eykst streitan að meðaltali frá um 1.500 mikrostrain upp í um 2.500 eftir tæpar 500 þúsund endurtekningar.

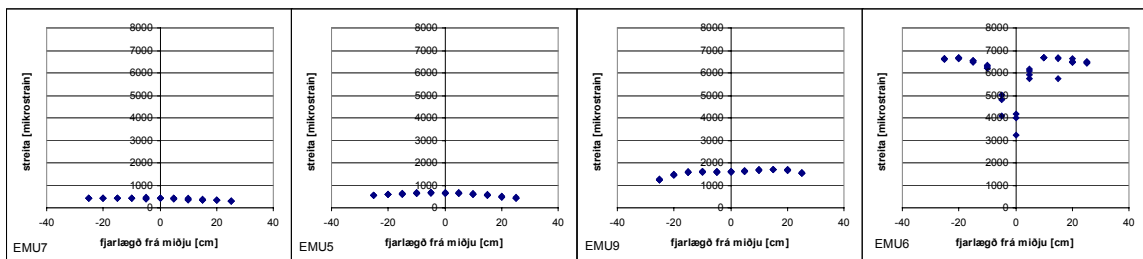


Mynd 45: Samband álags tvöfalds hjóls, sýndar mæingar fyrir hjól í stöðu 0 og -15, og streitu fyrir mæla á mismunandi dýpi, EMU7 á um 70 dýpi (í sandinum), EMU5 á um 45 cm dýpi (efst í sandinum) og EMU9 á um 30 cm dýpi (í miðju neðra burðarlagi). Loftþrýstingur er mismunandi.

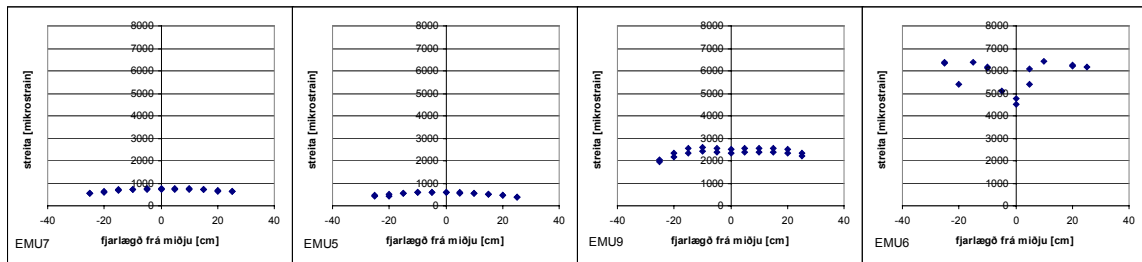


Mynd 46: Samband álagsendurtekninga frá tvöföldu hjóli, sýndar mæingar fyrir hjól í stöðu 0 og -15, og streitu fyrir mæla á mismunandi dýpi (sjá myndatexta við mynd 45). Loftþrýstingur er 800 kPa en álag mismunandi, sem skýrir drefingu.

Á myndum 47 og 48 eru sýndar mældar lóðréttar streitur undan álagi tvöfalds hjóls, annars vegar áður en aðalkeyrslur hófust og hins vegar eftir þær. Þarna eru skráðar niðurstöur fyrir mæli EMU6, sem mælir streitu í miðju efra burðarlagi, en hann er ekki með í því sem sýnt er hér að framan. Streita í miðju efra burðarlagi (EMU6) mælist langmest beint undir hjólunum og áður en aðalkeyrslur hófust er hún þrisvar til fjórum sinnum meiri en í miðju neðra burðarlagi (EMU9). Eftir aðalkeyrslur (mynd 48) mælist streitan svipuð og áður niðri í undirbyggingunni en hefur aukist í neðra burðarlaginu. Athyglisvert er að sjá að streita virðist ekki aukast í efra burðarlaginu eftir aðalkeyrslurnar, en það ber þó að taka niðurstöðurnar með fyrirvara, sjá má að nokkrum mælipunktum hefur verið hent út sem vafasömum. Stærðargráða streitu fyrir mæla EMU7, EMU5 og EMU9 er hin sama og fram kemur fyrir 60 kN álag á myndum 45 og 46 bæði fyrir og eftir aðalkeyrslur.



Mynd 47: Streita mæld með mismunandi EMU-coils (í mismunandi dýpi, sjá mynd 4), undan tvöföldu hjóli, álag er 60 kN mismunandi loftþrýstingur. Mælingar gerðar eftir forálag og áður en aðalkeyrslur hófust.



Mynd 48: Streita mæld með mismunandi EMU-coils (í mismunandi dýpi, sjá mynd 4), undan tvöföldu hjóli, álag er 60 kN loftþrýstingur er mismunandi. Mælingar gerðar eftir að aðalkeyslum lauk (eftir tæplega 500.000 endurtekningar).

3.3 Mæligögn frá veghloti: IS03

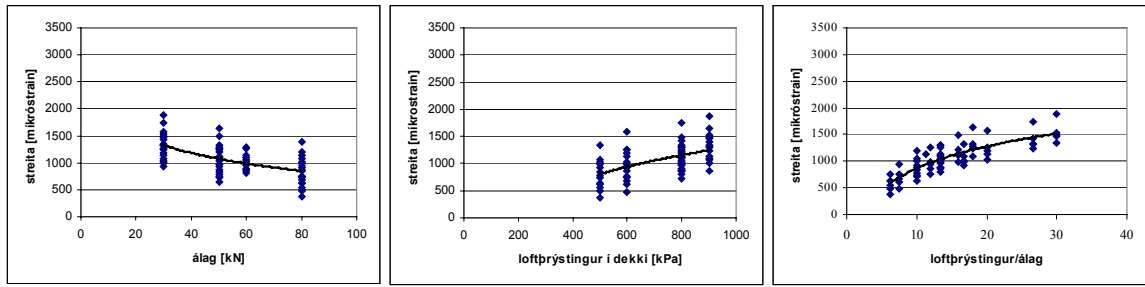
3.3.1 Streitunemar í neðri brún bikbundna lagsins (ASG)

Veghlot IS03 er eins og veghlot IS01, nema að bikbundna lagið í IS03 var eins og fyrirskrifað var, og ekki of mjúkt eins og í IS01. Hér verða því að hluta sýndar sambærilegar myndir fyrir streytumælingar í neðri brún bikbundna lagsins og sýndar eru í kafla 3.1.1. Niðurstöður fyrir IS01 og IS03 eru svo bornar saman síðar í þessari skýrslu. Á myndunum er togstreita jákvæð, en þrýstistreita neikvæð.

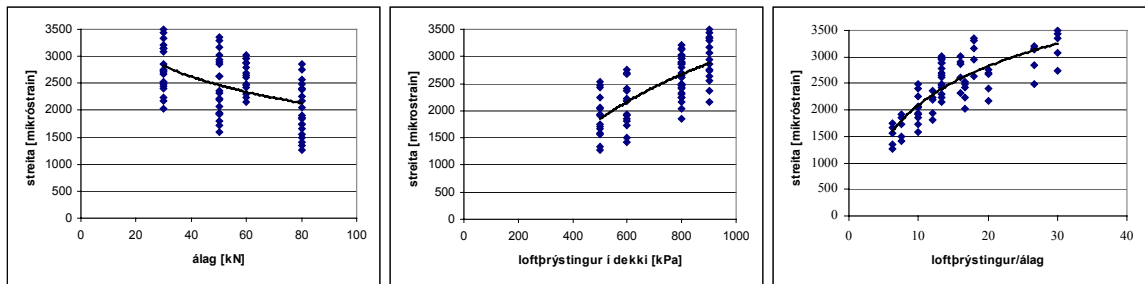
Ef litið er til hámarksstreitu, má draga saman niðurstöður sem koma fram á myndunum þannig að *hámarks þverstreita* undir *miðju einföldu hjóli* er í kring um 1000 mikrostrain, sjá mynd 49. Hún mælist þó ekki hæst undir miðju hjólinu, heldur við jaðar þess, eins og fram kemur á mynd 55. *Hámarks langstreita* undir *miðju einföldu hjóli* er af stærðargráðunni 2000 til 3000 mikrostrain að meðaltali, en hæstu og lægstu gildi eru frá 1200 til 3500 mikrostrain, háð álagi og loftþrýstingi í dekki, sjá mynd 50 og einnig mynd 56. *Hámarks þverstreita* undir *tvöföldu hjóli* kemur fram þegar mælt er undir öðru hjólinu og er á milli 1000 og 2000 mikrostrain, mynd 57. Á sömu mynd kemur fram að á milli tvöfaldrá hjóla, mælist þverstreitan sem þrýstistreita á bilinu 700 til 1700 mikrostrain. *Hámarks langstreita* undir tvöföldu hjóli mælist á bilinu 1800 til 3500 mikrostrain, mynd 59.

Af öðrum atriðum sem lesa má út úr myndum 49 til 54, er að breytilegt álag og loftþrýstingur hefur áhrif á þver- og langstreitu undir einföldu hjóli, meðan þess verður síður vart undir tvöföldu hjóli, hvort sem mælt er á milli þeirra eða aðeins undir öðru þeirra. Athygli vekur það sem fram kemur á myndum 58 og 60, að streita er að aukast við aukin fjölda álagsendurtekninga, þar til vatn er sett í grifjuna. Þá virðist hún minnka aftur. Ekki er auðvelt að skýra það og fræðilega ætti það ekki að gerast ef reiknað er með að vatnið í undirbyggingunni hafi áhrif til að minnka stífleika þess (lækka E-módúlinn). Ekki eru sambærileg dæmi um þetta í mælingum á sænskum uppbyggingum.

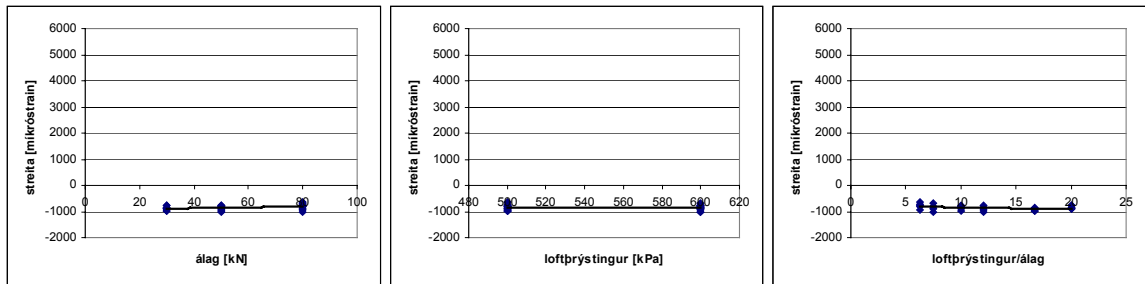
Á mynd 61 kemur fram að streita, bæði langs og þvers, eykst við aukið hitastig, eins og búast mátti við.



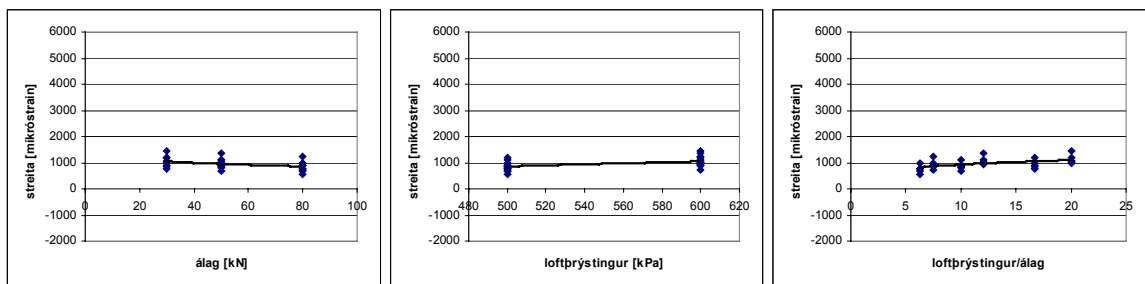
Mynd 49: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert á akstrusstefnu hjólsins, einfalt hjól í stöðu 0, allir mælar. Streita minnkar með auknu álagi, en eykst við aukinn loftþrýsting. Streita eykst með hærri hlutfalli loftþrýstingur/álag.



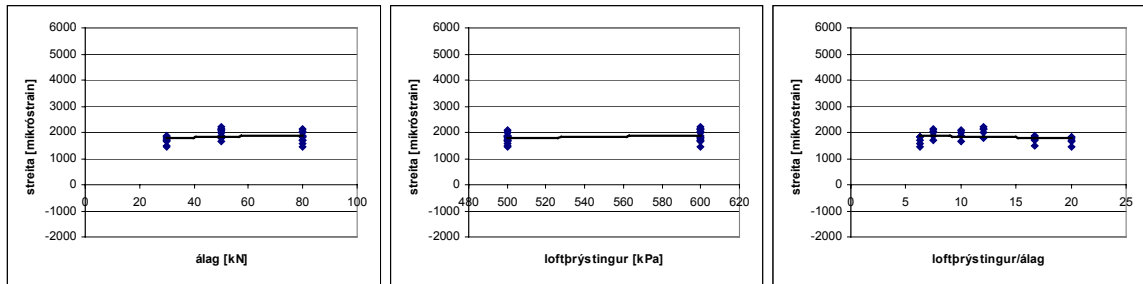
Mynd 50: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs eftir akstrusstefnu hjólsins, einfalt hjól í stöðu 0, allir mælar. Sambærilegt við mynd 49, en streitan langs er hærri.



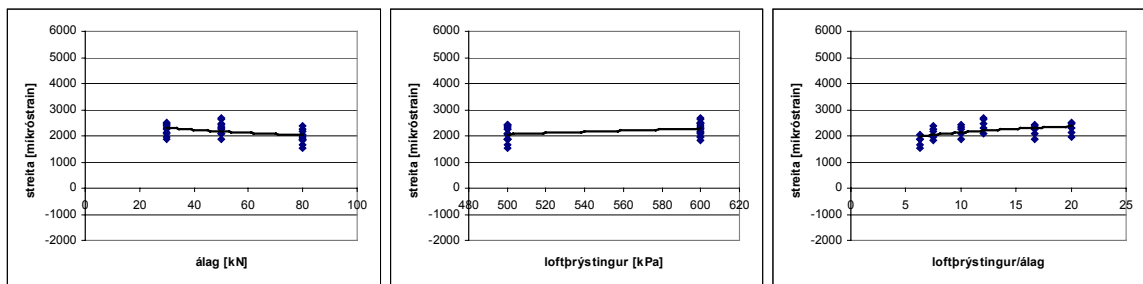
Mynd 51: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert á akstrusstefnu hjóla fyrir tvöfalt hjól í stöðu 0, hitastg tæplega 11°C, allir mælar, fyrstu svörunarmælingar (strax eftir forálag). Álag og loftþrýstingur hafa lítil áhrif á streitu milli hjóla parhjólsins.



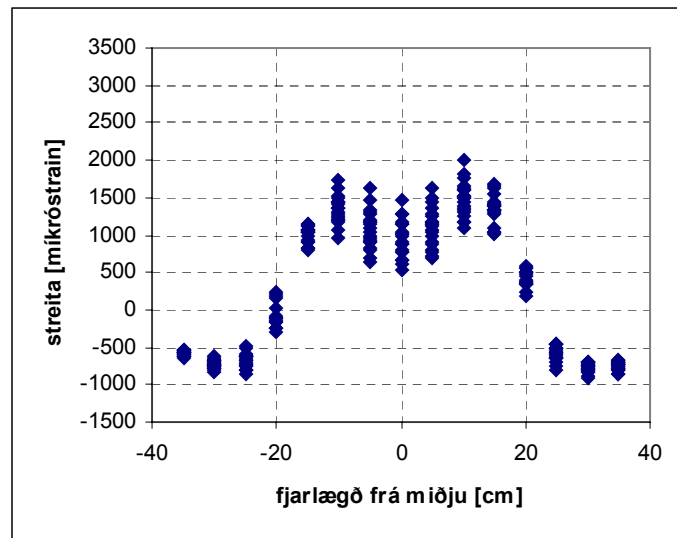
Mynd 52: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert á akstrusstefnu hjóla fyrir tvöfalt hjól í stöðu -15, hitastig um 11°C, allir mælar, fyrstu svörunarmælingar (strax eftir forálag). Álag og loftþrýstingur virðist hafa lítil áhrif á streituna í þessu tilviki líka.



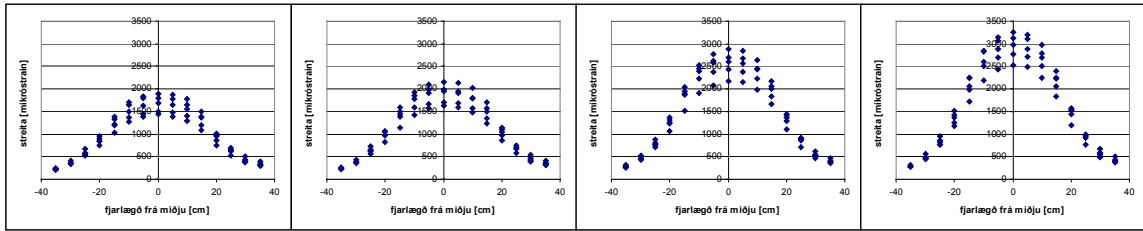
Mynd 53: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs eftir akstursstefnu hjólsins fyrir tvöfalt hjól í stöðu 0, hitastig rétt undir 11°C, allir mælar, fyrstu svörunarmælingar (strax eftir forálag). Álag og loftþrýstingur hafa lítil áhrif á streituna í þessu tilviki.



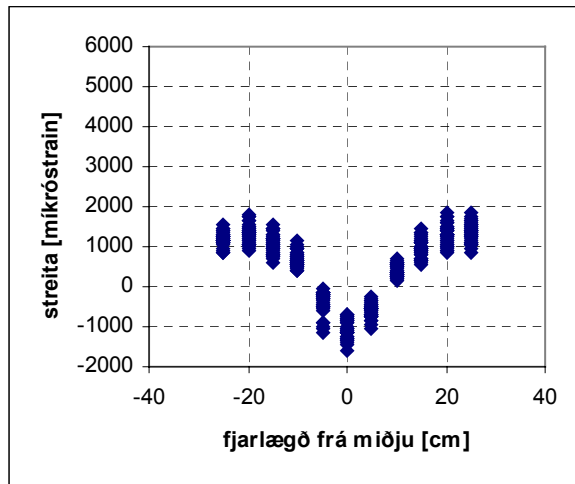
Mynd 54: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs eftir akstursstefnu hjólsins fyrir tvöfalt hjól í stöðu -15, hitastig rétt undir 11°C, allir mælar, fyrstu svörunarmælingar (strax eftir forálag). Enn hefur álag og loftþrýstingur lítil áhrif.



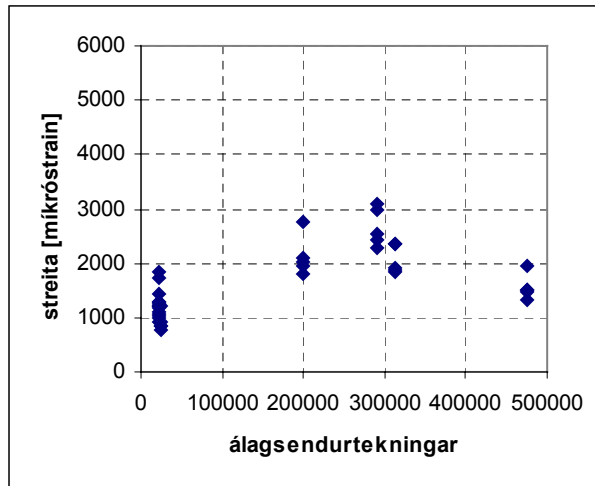
Mynd 55: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert sem fall af staðsetningu einfalds hjóls þvert á akstursstefnu. Allir mælar. Dreifing í niðurstöðum er vegna breytilegs loftþrýstings í dekki, álag er alltaf 60 kN. Þarna kemur fram að streitan er meiri við jaðar hjólsins en undir því miðju.



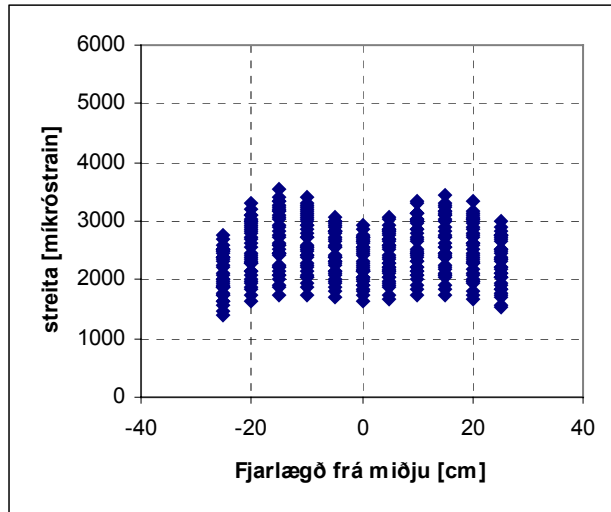
Mynd 56: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs sem fall af staðsetningu einfalds hjóls þvert á akstursstefnu. Allir mælar. Álag 60 kN, loftþrýstingu mismunandi, frá vinstri til hægri. 500 kPa, 600 kPa, 800 kPa og 900 kPa. Loftþrýstingur hefur afgerandi áhrif á langstreitu undan einhföldu hjóli, aukningin frá 500 til 900 kPa undir miðju hjóli, er um það bil tvöföld.



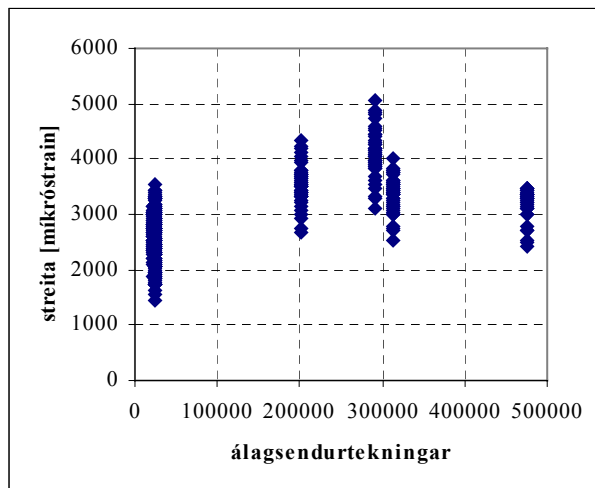
Mynd 57: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert sem fall af staðsetningu tvöfalds hjóls, þvert á akstursstefnu, allir mælar og öll álagstilvik (mismunandi hitastig og loftþrýstingur álag alltaf 60 kN). Mælingar gerðar strax eftir forálagskeyrslur.



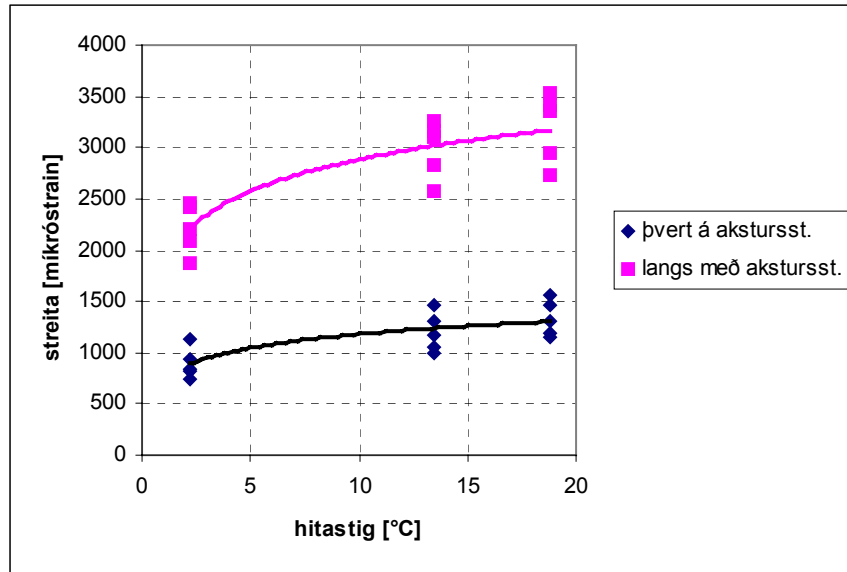
Mynd 58: Streita í neðri brún bikbundins lags, þvert sem fall af álagsendurtekningum, tvöfalt hjól í stöðu -15, hitastig milli 10 og 11°C, álag 60 kN, loftþrýstingur í dekki 800 kPa. Streitan eykst til að byrja með, en virðist svo minnka aftur eftir að vatn hefur verið sett í gryfjuna.



Mynd 59: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs sem fall af staðsetningu tvöfalda hjóls, þvert á akstursstefnu, allir mælar öll álagstilvik. Mælingar gerðar strax eftir forálagskeyrslu (upphafssvörunarmælingar). Langstreita mest undir hjólum og minni á milli þeirra.



Mynd 60: Streita í neðri brún bikbundins lags, langs sem fall af fjölda álagsendurtekninga. Tvöfalt hjól, álag er 60 kN loftþrýstingur er 800 kPa, hitastig milli 10 og 11°C. Streitan eykst sem fall af álagsendurtekningum þar til vatn er fyllt í gryfjuna, þá minnkar hún aftur.

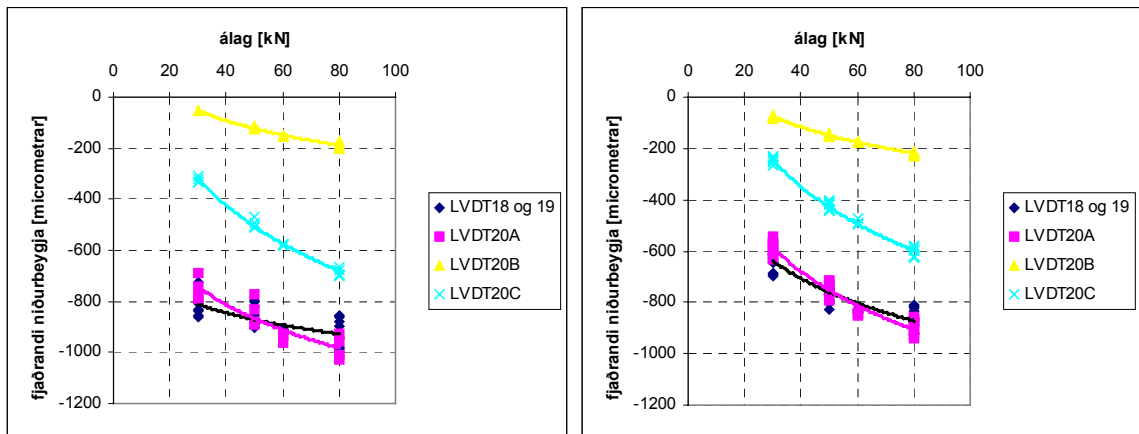


Mynd 61: Streita í neðri brún bikbundins lag, langs og þvers, sem fall af hitastigi. Álag er 60 kN, loftþrýstingur í dekki er 800 kPa, tvöfalt hjól í stöðu -15. Streita eykst um c.a. 50% við að hitastig hækki úr u.þ.b. 2°C í 18,5°C.

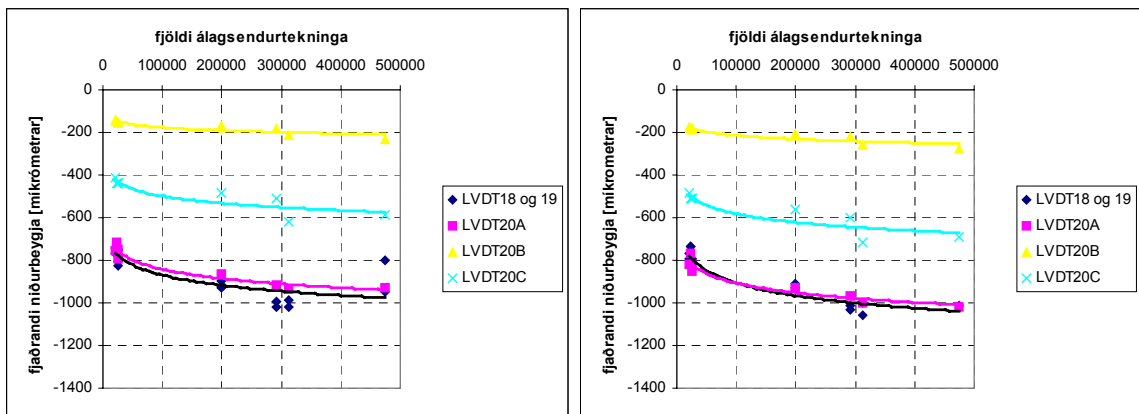
3.3.2 Niðurbeygjumælur (LVDT)

Á mynd 62, er sýnt samband álags og niðurbeygju. Mælur 18 og 19, sem mæla niðurbeygju í yfirborðinu, sýna sambærilegar niðurstöður og eru teknir saman. Hins vegar er athyglisvert að sjá að mælir 20A sýnir einnig svipaða niðurbeygju og 18 og 19, þó mælir 20A sé í 10 cm dýpi (við neðri brún bikbundna lagsins). Ef þetta er rétt, virðist sem bikbundna lagið virki sem ein heild og svigni allt niður undan álaginu. Það er samt ekki eðlilegt að við aukið álag virðast áhrifin minni á yfirborðinu en við neðri brún lagsins. Það mælir einnig á mótí þessari skýringu, að við lok keyrslu kom í ljós að bikbundna lagið var ekki búið að ná fullum styrk og neðri hluti þess var enn ekki fyllilega bundinn, sjá heimild [1].

Þegar niðurstöður eru skoðaðar fyrir mismunandi fjölda álagsendurtekninga, sjá mynd 63, annars vegar fyrir 50 kN álag og hins vegar 60 kN álag sést að niðurbeygja í 10 cm dýpi er ávallt mjög svipuð og á yfirborðinu. Það er einnig athyglisvert að sjá að svo virðist sem það hafi minni áhrif á niðurbeygju efst og neðst í bikbundna laginu, þegar vatn er sett í gryfjuna, meðan það kemur fram á hinum mælunum tveimur, LVDT20B og LVDT20C (við um 330.000 álagsendurtekningar).

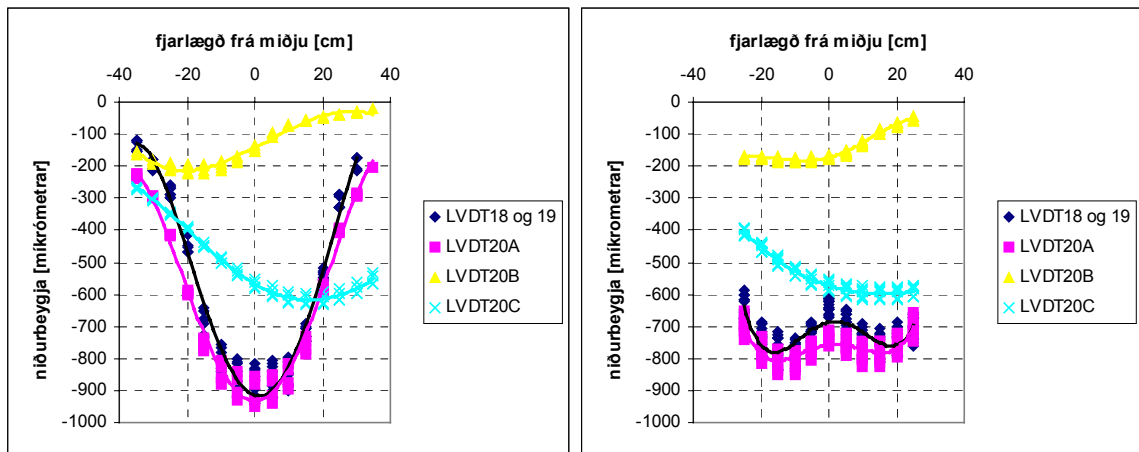


Mynd 62: Samband álags og fjaðrandi niðurbeygju mismunandi mæla. Til vinstri fyrir einfalt hjól í stöðu 0, til hægri fyrir tvöfalt hjól í stöðu -15. Mælingar fyrir 60 kN álag eru gerðar á hraða 2, 4 og 8 km/klst, en aðrar mælingar á hraðanum 12 km/klst. Athugað skal að mælar 20B (í stöðu -18 cm miða við miðlínu) og C (í stöðu +13 cm) eru ekki undir miðlínu.



Mynd 63: Samband fjaðrandi niðurbeygju og fjölda álagsendurtekninga. Tvöfalt hjól í stöðu -15, til vinstri er álag 50 kN en 60 kN til hægri. Loftþrýstingur í dekki er 800 kPa.

Á mynd 64 er sýnd mæld niðurbeygja dreift miðað við akstursstefnu hjólsins. Á myndinni kemur fram að niðurbeygja mælist enn svipuð eða jafnvel meiri í neðri brún bikbundna lagsins, en í yfirborðinu. Þetta er í samræmi við það sem kemur fram hér að framan.

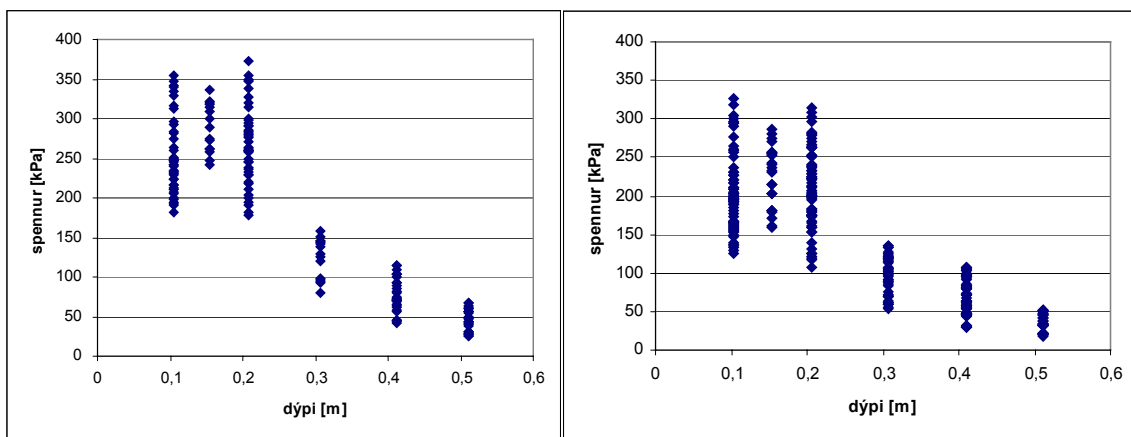


Mynd 64: Fjarlægðir niðurbeygja undan álagi, sem dreifist þvert á akstursstefnu hjólsins, til vinstri undan einföldu hjóli, til hægri undan tvöföldu hjóli. Mælingar áður en aðalkeyrslur hófust. Álag er 60 kN, en loftþrýstingur mismunandi. (Inn á myndrnar hefur verið bætt margliðunálgun af 4. gráðu).

3.3.3 Spennumælur (SPC)

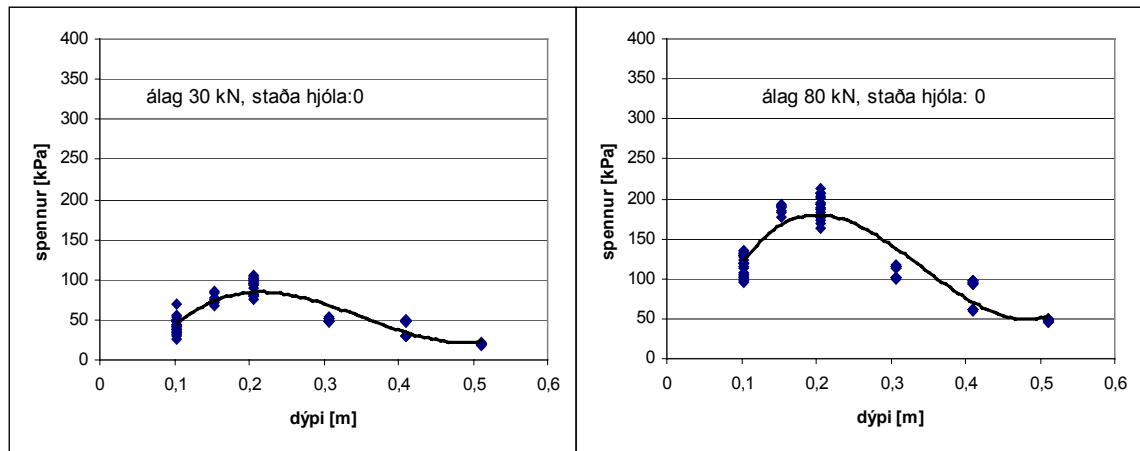
Á mynd 3 kemur fram að alls 14 spennumælur voru í veghloti IS03. Tveir þeirra, þ.e. mælur nr. 21 og 22 sýna reyndar enga svörun þegar mælt var fyrir einhfalt hjól, en að öðru leyti voru þeir með. Hér verða sýnd nokkur dæmi um niðurstöður spennumælinga.

Á mynd 65, er sýnd mæld spenna sem fall af dýpi, fyrir annars vegar álag einfalds hjóls og hins vegar tvöfalds hjóls, mælt nokkurn veginn beint undir hjóli í báðum tilvikum. Fram kemur að í efri hluta uppbyggingarinnar virðist sem spenna mælist ögn hærrí undir miðju einföldu hjóli, en undir öðru hjóli af tveimur þegar um það er að ræða. Þegar neðar dregur mælist spennan svipuð. Þetta kemur örlítið á óvart, þar sem ætla mætti að fyrir tvöfalt hjól væri viðbótaráhrif af hinu hjólinu með, eins og fram kom í IS02, en það kemur ekki fram hér. Ef til vill hefur bikbundna lagið áhrif til að dreifa álaginu meira hér.



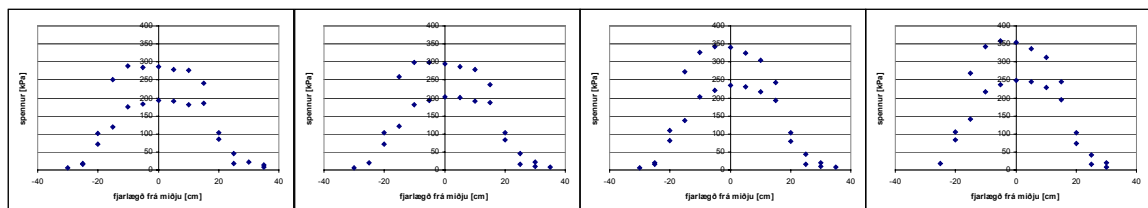
Mynd 65: Spennur sem fall af dýpi. Til vinstri undan einföldu hjóli í stöðu 0, til hægri undan tvöföldu hjóli í stöðu -15 (nálægt því undir öðru hjólinu miðju). Allar mælingar eru með, þ.e. fyrir mismunandi álag og loftþrýsting í dekki. Fyrir tvöfalt hjól eru aðeins sýndar mælingar sem gerðar voru í upphafi, þ.e. áður en aðalkeyrslur hófust. Aðeins einn mælir er í dýpi c.a. 0,15 m og fyrir einfalt hjól er aðeins einn mælir í dýpi c.a. 0,3 m. Annars eru a.m.k. tveir mælur í hverju dýpi.

Á mynd 66 er sýnt hvernig spennur breytast með dýpi, þegar mælt er mitt á milli hjóla fyrir tvöfalt hjól. Spenna eykst með dýpi til að byrja með, en það má skýra með að áhrif frá báðum hjólum eru að koma saman allt niður í um 0,2 m dýpi, en síðan fer spenna minnkandi eftir það.

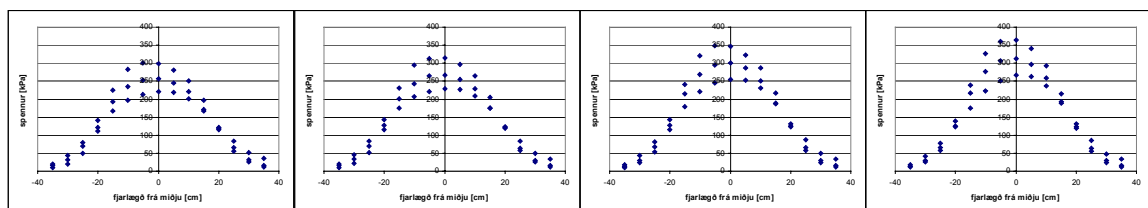


Mynd 66: Spennur sem fall af dýpi, fyrir 30 og 80 kN álag parhjóls í stöðu 0 (loftþrýstingur í dekkjum er mismunandi). Niðurstöður mælinga sem gerðar voru strax eftir forálagskeyrslu.

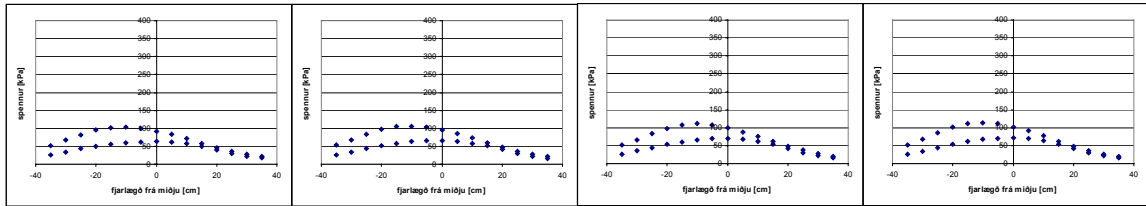
Á myndum 67, 68 og 69 eru niðurstöður mældrar spennu sem fall af staðsetningu einfalds hjóls, þvert á akstursstefnu. Sýndar eru niðurstöður fyrir mismunandi dýpi og endurspeglast það sem kemur fram á mynd 65, að spenna mælist svipuð í 10 og 20 cm dýpi. Á mynd 69 kemur fram að mælur í 40 cm dýpi eru ekki alveg á miðlínu.



Mynd 67: Spennur í dýpi 10,4 cm, sem fall af stöðu einfalds hjóls, þvert á akstursstefnu (tveir mælur, ekki niðurstöður frá mæli nr. SPC35). Breytilegur loftþrýstingur frá vinstri til hægri, 500, 600, 800, 900 kPa.

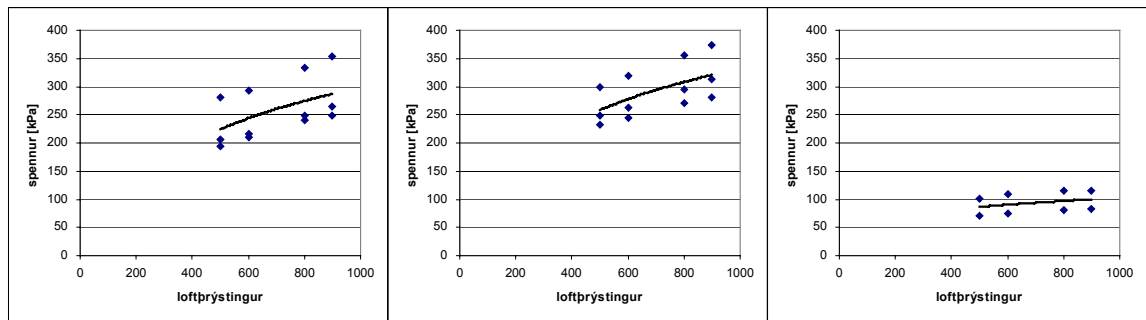


Mynd 68: Spennur í dýpi 20,7 cm, sem fall af stöðu einfalds hjóls, þvert á akstursstefnu (þrír mælur). Breytilegur loftþrýstingur frá vinstri til hægri, 500, 600, 800, 900 kPa.



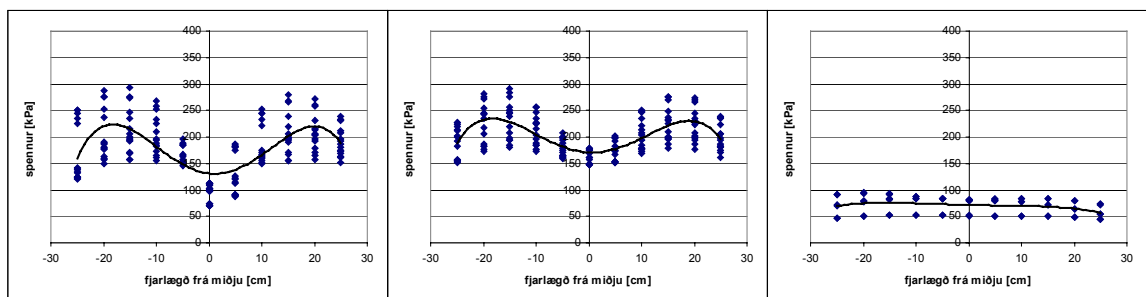
Mynd 69: Spennur í dýpi 41,1 cm, sem fall af stöðu einfalds hjóls, þvert á akstursstefnu (tveir mælar). Breytilegur loftþrýstingur frá vinstri til hægri, 500, 600, 800, 900 kPa.

Á mynd 70 er sýnd spenna sem fall af loftþrýstingi fyrir mismunandi dýpi. Þar sem spennan mælist svipuð, í 10 og 20 cm dýpi, eru áhrif loftþrýstings svipuð, en sjá má að hann hverfur nánast í 40 cm dýpi.



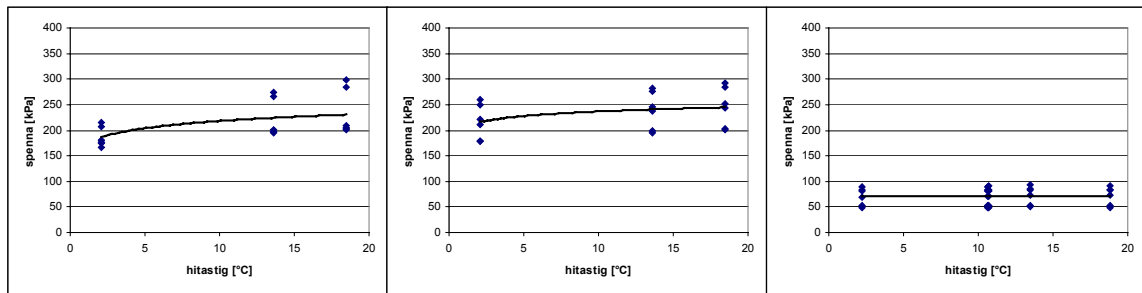
Mynd 70: Spenna sem fall af loftþrýstingi, einfalt hjól í stöðu 0, dýpi er mismunandi, frá vinstri 10,4 cm, 20,7 cm og 41,1 cm. Í tveimur fyrstu tilvikunum eru sýndar niðurstöður þriggja mæla, en tveggja í 41,1 cm dýpi. Álag í öllum tilvikum er 80 kN.

Á mynd 71 er sýnt samband spennu og stöðu tvöfalds hjóls, þvert á akstursstefnu. Niðurstöður eru sambærilegar við það sem áður er komið fram.



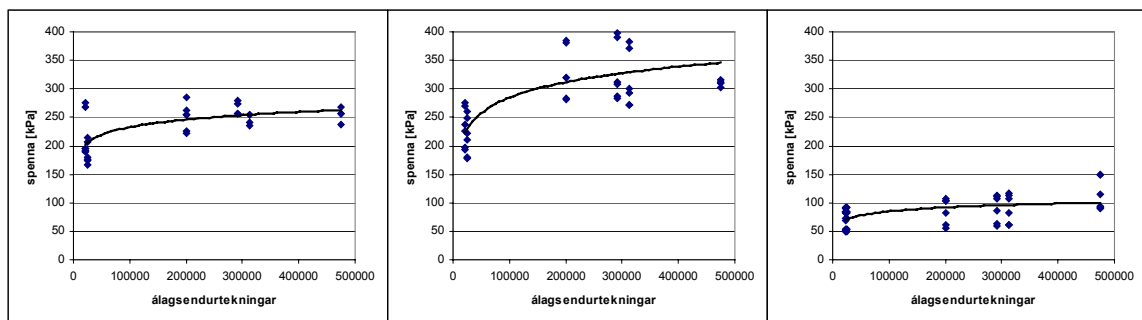
Mynd 71: Spennur á mismunandi dýpi, sem fall af staðsetningu tvöfalds hjóls þvert á akstursstefnu, frá vinstri til hægri er dýpið 10,4 cm, 20,7 cm og 41,1 cm. Álag er ávallt 60 kN en loftþrýstingur mismunandi. Hitastigið við mælingarnar er um það bil 11 til 13°C. Í öllum tilvikum eru sýndar niðurstöður frá þremur mælum. (Á myndina hefur verið bætt 4. gráðu margliðunálgun fyrir punktana sem sýndir eru.)

Á mynd 72 er sýnt hvernig spenna breytist við mismunandi hitastig við prófun. Sjá má að hitastigið virðist hafa örlítill áhrif á spennu í 10 og 20 cm dýpi, en áhrifin eru horfin þegar komið er niður í 40 cm dýpi. Samkvæmt þessu verður spennan hærri þegar bikbundna lagið verður “mýkra” (stífnistuðullinn lækkar) við hækkað hitastig.



Mynd 72: Spenna í mismunandi dýpi (frá vinstri til hægri: 10,4 cm, 20,7 cm og 41,1 cm) sem fall af hitastigi, undir tvöföldu hjóli, í stöðu -15 og $+15$ (u.þ.b. undir miðju öðru hjólinu), álag er 60 kN og loftþrýstingur í dekki er 800 kPa.

Á mynd 73 er sýnt samband spennu og álagsendurtekninga fyrir mismunandi dýpi. Hitastig er undir 12°C . Samkvæmt myndinni eykst spenna með auknum fjölda álagsendurtekninga, en áhrifin eru mismunandi eftir dýpi. Af myndinni má merkja að í 10 og 20 cm dýpi, kemur fram að spenna minnkar þegar mælt er eftir að vatn er sett í gryfjuna, en áhrifin eru minni í c.a 40 cm dýpi.

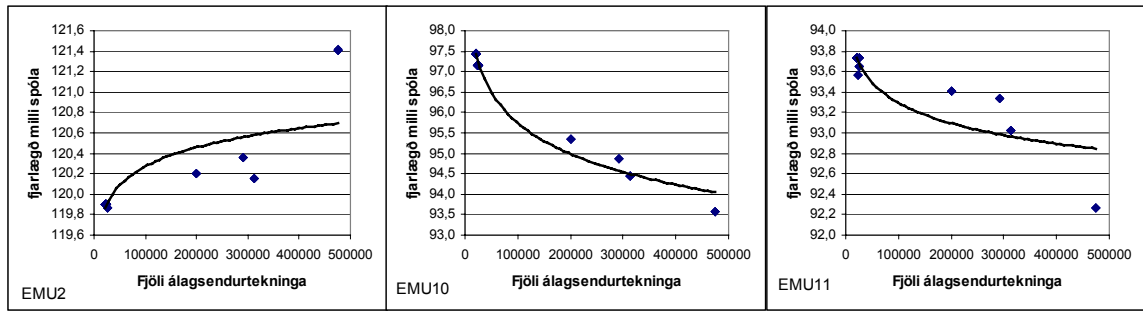


Mynd 73: Spenna sem fall af álagsendurtekningu, fyrir mismunandi dýpi (frá vinstri til hægri: 10,4 cm, 20,7 cm og 41,1 cm), undan tvöföldu hjóli í stöðu -15 og $+15$ (u.þ.b. undir miðju öðru hjólinu). Álag er ávallt 60 kN og loftþrýstingur í dekkjum er 800 kPa.

3.3.4 Lóðrétt streita á mismunandi stöðum (EMU-coils)

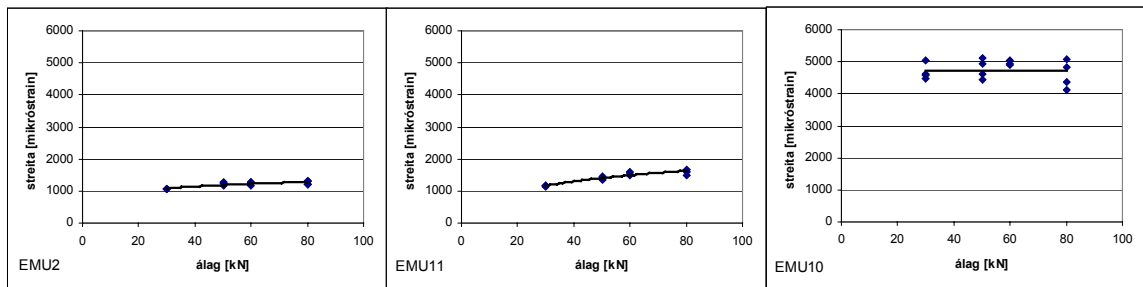
Þrjár EMU-coils mælur eru í veghloti IS03 (sjá mynd 3). Einn þeirra, þ.e. mælir EMU2 niðri í sandinum, var líka í veghloti IS01. Hins vegar var í IS03 bætt inn mæli til að mæla streitu í miðju neðra burðarlagi (EMU11) og settur nýr í óbundna hluta efra burðarlagsins (EMU10).

Grunsemdir vekur strax með mæli EMU2, að upphafsþjarlægð á milli spóla í honum mælist nálægt 120 mm, en var samkvæmt mælingum fyrir IS01 u.þ.b. 80 mm. Hugsanlega hefur mælirinn eitthvað raskast við endurbyggingu veghlotsins. Þó er líklegri skýring, sem fram kemur í viðauka II, að staðsetning álagsbúnaðarins hafi verið mismunandi við mælingar á statískri spennu sem gerð er til að finna þjarlægð milli spólanna. Eins og sjá má á mynd 74, eykst þjarlægð milli spóla í þessum mæli (EMU2) með fjölda álagsendurtekninga, en þó ekki nema um 1,5 mm (samkvæmt því er efnið að þenjast út!). Á myndinni sést að hinir mælarnir þjappast saman, mælir EMU10 um tæpa 4 mm en EMU11 um 1,5 mm. Það er í samræmi við staðsetningu þeirra í veghlotinu (sjá mynd 3).



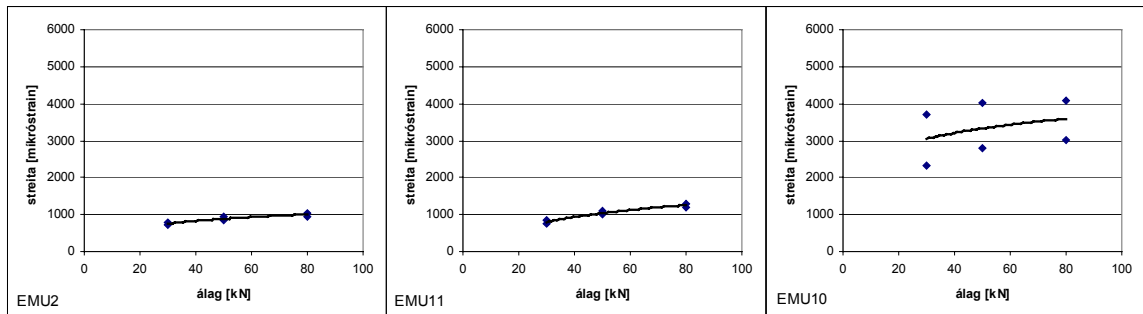
Mynd 74: Samband álagsendurtekninga og fjarlægðar milli spóla fyrir mismunandi EMU-coils mæla. (Ath. að skalinn á y-ásnum er mismunandi.)

Á mynd 75 er sýnt samband fjaðrandi (dynamiskrar) streitu og álags einfalds hjóls, með mismunandi loftþrýsting. Álagið hefur örtilit áhrif á streitu í neðra burðarlagi (mælir EMU11), en loftþrýstingur lítill áhrif. Hins vegar eru áhrif loftþrýstingsins orðin ráðandi þegar komið er upp í óbundna hluta efra burðarlagsins (mælie EMU10), það sést af dreifingu niðurstaðna fyrir mismunandi álag, sem stafar af mismunandi loftþrýstingi. Niðurstöður mælinga undan einföldu hjóli, dreift þvert á akstursstefnu eru ekki sýndar, en hámarksstreita undir miðju hjóli er svipuð og sýnd er á mynd 75.



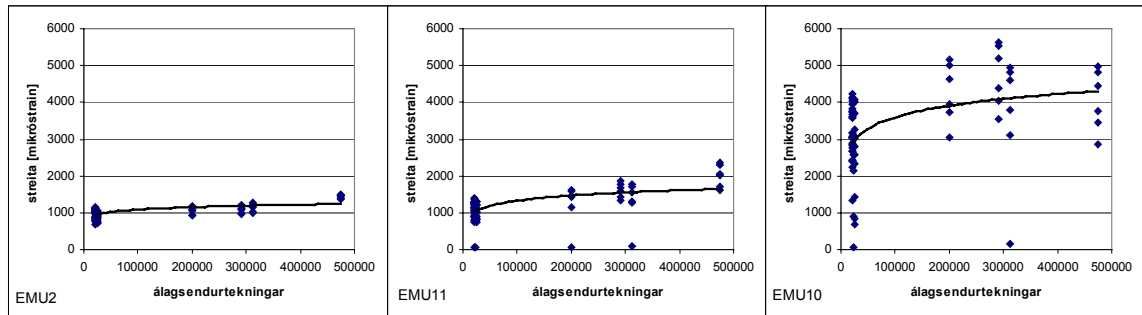
Mynd 75: Samband dynamiskrar streitu og álags einfalds hjóls í stöðu 0. Loftþrýstingur er mismunandi og skýrir það dreifingu fyrir mæli EMU10, sem mælir streitu í miðjum óbundna hluta efra burðarlagsins. Mælingarnar eru gerðar áður en aðalkeyrslur hófust.

Á mynd 76, er sýnt samband álags frá tvöföldu hjóli í stöðu 0 og -15 og streitu. Streitan eykst með auknu álagi. Sjá má að mælingar í stöðu 0 og -15 falla saman þegar mælt er niðri í sandinum og miðju neðra burðarlagi (mælir EMU2 og EMU11), en hins vegar koma áhrif í ljós í óbundna hluta efra burðarlags (mælir EMU10), streitan mælist ríflega þriðjungji lægri á milli hjóla (í stöðu 0).



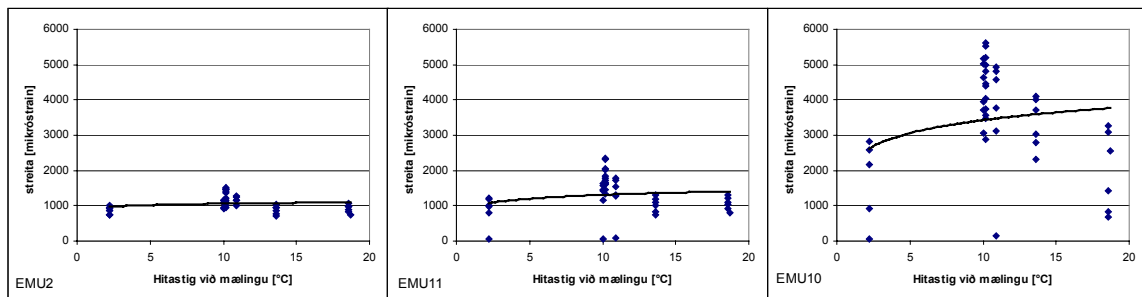
Mynd 76: Samband álags, tvöfalt hjól í stöðu 0 og -15, og streitu. Mælingar áður en aðalkeyrslur hófust og aðeins mælingar við 13,6°C eru teknar með, hraðinn ávallt um 12 km/klst. Sjá má að fyrir EMU10 hefur staðsetning hjóla áhrif, streita mælist lægri í stöðu 0 (þ.e. á milli hjólanna) en hærrí í stöðu -15. Fyrir mæla EMU2 og EMU11 falla mælingar í stöðu 0 og -15 saman.

Á mynd 77 er sýnt hvernig streita breytist við aukinn fjölda álagsendurtekninga. Breytingin er mest í óbundna hluta efra burðarlagsins (mælir EMU10), dreifing niðurstaðna frá mælinum er þó mikil þar sem allar mælingar eru með. Ljóst er að bæði fyrir EMU11 og EMU10 eru mælipunktur, sem verða að teljast vafasamir. Það vekur einnig athygli þegar myndin er skoðuð, að streitan virðist minnka eftir að vatni er bætt í gryfjuna, sem er það sama og kemur fram í streitumælum í neðri brún bikbundna lagisins (sjá mynd 58).



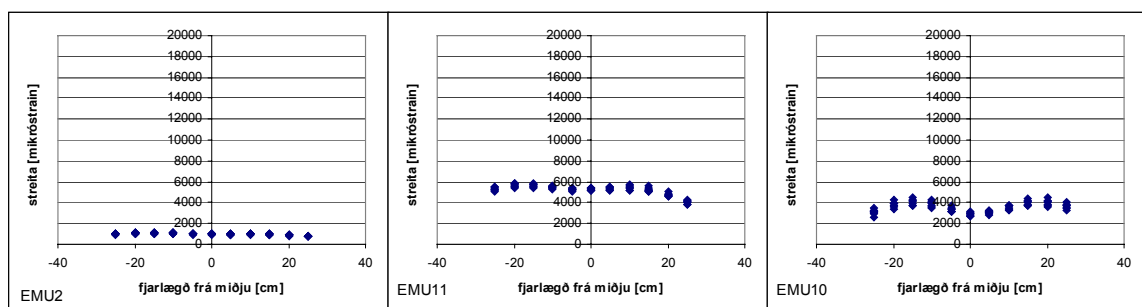
Mynd 77: Samband streitu og fjölda álagsendurtekninga tvöfalts hjóls, í stöðu 0 og -15 , álag, loftþrýstingur í dekkjum og hitastig við mælingu er mismunandi.

Á mynd 78, er sýnt samband streitu og hitastigs fyrir mismunandi mæla. Fram kemur að niðurstöðurnar eru dreifðar, sérstaklega fyrir mælinn í miðjum óbundna hluta efra burðarlagsins. Vísbendingar eru þó um það að streitan mælist minni við hærri hitastig.

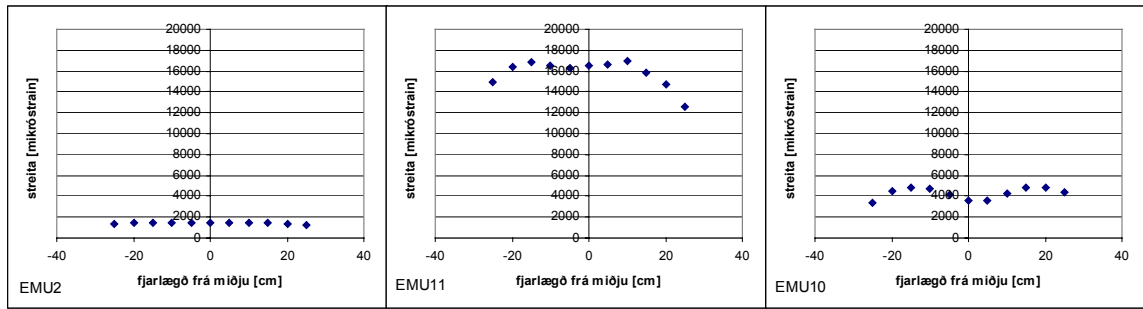


Mynd 78: Samband streitu og hitastigs, álag er breytilegt frá tvöföldu hjóli í stöðu 0 og -15 , loftþrýstingurinn er 800 kPa.

Á myndum 79 og 80 er sýnd mæld streita þvert á akstursstefnu tvöfalts hjóls, mælingar gerðar fyrir aðalkeyrslur á fyrri myndinni, en eftir aðalkeyrslur á seinni myndinni. Athygli vekur að streita mælist meiri í miðju neðra burðarlagi en í óbundna hluta efra burðarlagsins og munurinn verður mun meiri eftir að aðalkeyrslum er lokið.



Mynd 79: Streita þvert á akstursstefnu tvöfalts hjóls, álag, loftþrýstingur og hitastig mismunandi. Mælingar gerðar áður en aðalkeyrslur hjófast.



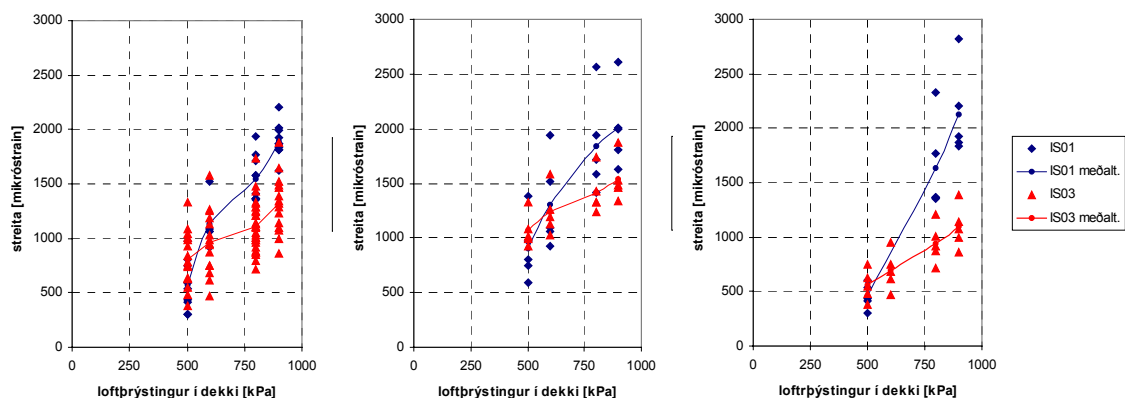
Mynd 80: Sama og mynd 79, nema mælingar gerðar við lok aðalkeyrslna (eftir tæplega 500.000 endurtekningar)

4. Samanburður á mismunandi veghlotum

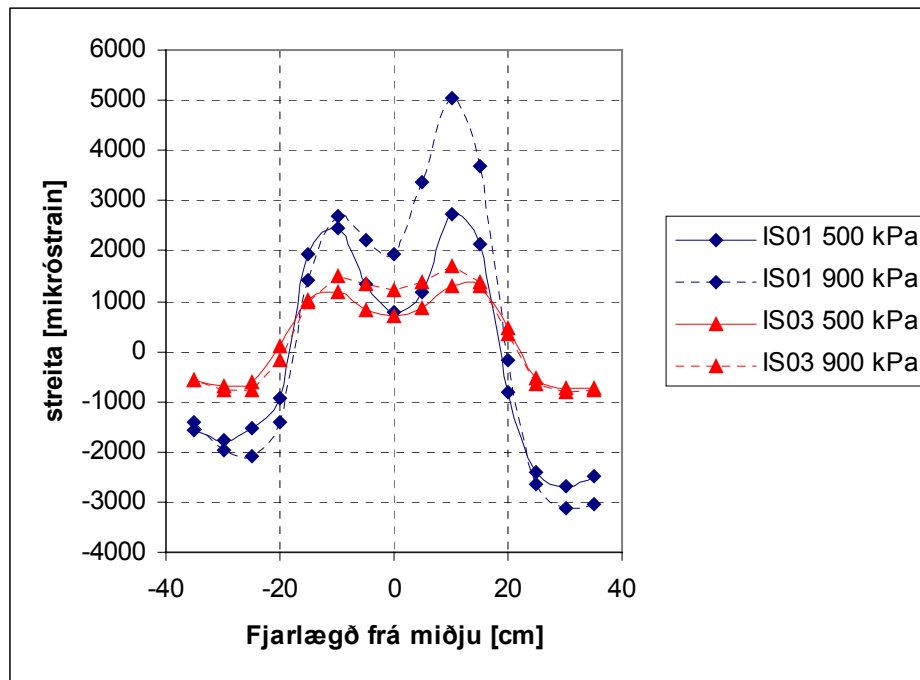
4.1 Mæling á streitu í neðri brún bikbundinna laga

Hægt er að bera saman mældu streitu í neðri brún bikbundinna laga fyrir veghlot IS01 og IS03. Eini munurinn er að í IS01 var bikið of mjúkt og ekki í samræmi við það sem fyrirskrifað var. Bakreikningar efnisstuðla sýna að stífleiki bikbundna lagsins í IS01 er um 200-250 MPa, en hins vegar á bilinu 570 til 730 MPa fyrir IS03 [3]. Almennt má segja um niðurstöðurnar, að þær eru sambærilegar, þ.e. svörunin er sambærileg fyrir sömu aðstæður, þó streitan mælist yfirleitt hærrí í IS01. Það ber þó að hafa í huga við þennan samanburð, að hugsanlega mælist streita í neðri brún bikbundna lags IS03 of há, vegna þess að í ljós kom að neðri hluti bikbundna lagsins hafði ekki náð að harðna, samanber heimild [1]. Ofangreindir bakreiknaðir stífniustuðlar fyrir bikbundna lagið í IS03 eru meðaltal fyrir lagið í heild, en hugsanlega er stífnin meiri í efri hlutanum og þar af leiðandi minni í þeim neðri.

Dæmi um samanburð á niðurstöðum er sýnt á mynd 81. Þar eru sýndar þverstreitur undan einföldu hjóli í neðri brún bikbundna lagsins, þ.e. streita þvert á akstursstefnu hjólsins, fyrir mismunandi loftþrýsting. Þegar meðaltalið er skoðað, kemur í ljós að streitan mælist minni í IS01, þegar loftþrýstingur í dekki er lítill. Í því sambandi má skoða niðurstöður fyrir mælingar undan einföldu hjóli dreift á akstursstefnu hjólsins. Reyndar eru niðurstöðurnar aðeins til fyrir 60 kN álag, en ekki var mælt við það álag fyrir IS01 undir einföldu hjóli í stöðu 0 (niðurstöðurnar sem sýndar eru á mynd 81). Eins og sjá má á mynd 82 er meiri munur á spennu undir miðju hjóli og við jaðar þess og við 500 kPa loftþrýsting í dekki mælist streitan undir miðju hjóli svipuð og í IS03 (með 60 kN álagi), en munurinn er hærrí við jaðar hjólsins. Þegar loftþrýstingur í dekki er lágur, þá verður munur á streitu undir miðju dekki og jaðri þess meiri og svo virðist sem hann komi mun meira fram í IS01 en IS03. Það skýrir hvers vegna streitan mælist lægri undir miðju einföldu hjóli í stöðu 0 við lágan loftþrýsting eins og fram kemur á mynd 81. Líklegt er að streita undir jaðri hjólanna sé munur hærrí fyrir IS01 en IS03 við þessar aðstæður.



Mynd 81: Samband þverstreitu í neðri brún bikbundins lags undir miðju einföldu dekki og loftþrýstings í dekkinu. Lengst til vinstri eru allar mælingar með, aðeins fyrir 30 og 80 kN álag á IS01 (mælingar ekki gerðar fyrir önnur álagstilvik með einfalt hjól í stöðu 0), en auk þess 50 og 60 kN fyrir IS03. Á myndinni í miðju koma niðurstöður fyrir 30 kN álag og lengst til hægri eru niðurstöður fyrir 80 kN álag.



Mynd 82: Lárétt streita í neðri brún bikbundins burðarlags (í um 20 cm dýpi) undir einföldu hjóli, þvert á akstursstefnu hjólsins. Álag er 60 kN.

4.2 Mæling á niðurbeygju

Sammerkt er með niðurbeygjumælingum í öllum prófuðum veghlotum að þær sýna aukna niðurbeygju með auknu álagi, eins og búast mátti við.

Varaðandi mælda niðurbeygju yfirborðs, er ekki mikið af niðurstöðum sem hægt er að bera saman. Yfirborðsmælar IS01 dattu fljótlega út og yfirborðsmælir IS02 (LVDT16) sýnir vafasamar niðurstöður, þar sem hann var settur í málmplötu, eins og vikið hefur verið að áður. Hins vegar má hafa hliðsjón af mæli LVDT17A fyrir IS02, en hann er staðsettur undir klæðingunni í yfirborði efra burðarlags, og bera saman við mæla í yfirborði IS03 (mælar LVDT18 og 19). Samanburður er sýndur í töflu 5. Fyrir IS02 mælist niðurbeygjan meiri undan miðju einföldu hjóli, en tvöföldu hjóli í stöðu – 15 (þ.e. undir öðru hjólinu). Tölurnar eru hins vegar svipaðar fyrir IS03. Munur á niðurbeygju er því hlutfallslega meiri fyrir einfalt hjól, eins og fram kemur í töflunni. Skýringin kann að vera sú að álag á einfalt hjól dreifist minna niður í uppbygginguna og líklega er hegðun bikbundna hluta burðarlags IS03 meira línuleg en óbundna burðarlagsins í IS02.

Tafla 5: Mæld niðurbeygja fyrir mismunandi álag og hjólagerðir í yfirborði IS02 og IS03 (fyrir IS02 er stuðst við niðurstöður mælis LVDT17A, sem er í efri brún efra burðarlags strax undir klæðingunni).

Álag	mæld niðurbeygja [mm]			
	IS02	IS03	IS02/IS03	
Einf. hjól í stöðu 0	80 kN	1,6	0,9	1,78
	30 kN	1,4	0,8	1,75
Tvöf. hjól í stöðu -15	80 kN	1,4	0,9	1,56
	30 kN	1,1	0,7	1,57

Hægt er að bera saman niðurbeygju í efri brún neðra burðarlags fyrir öll veghlotin, sjá myndir 19, 30 og 62. Í þessum samanburði er miðað við niðurstöður mæla merkum LVDTxxC, en eins og fram hefur komið áður í þessari skýrslu er ruglingur í

staðsetningu mæla merktum með “C” og “B”. Niðurstöður eru sýndar í töflu 6. Samkvæmt þessu mælist niðurbeygjan í yfirborði efra burðarlags svipuð fyrir IS01 og IS03, þannig að það virðist sem stífleiki bikbundna lagsins hafi ekki áhrif á þetta. Undan tvöföldu hjóli í stöðu -15 er niðurbeygja einnig svipuð fyrir allar uppbyggingar, en hún mælist örlítið meiri undan 80 kN álagi einfalds hjóls fyrir IS02.⁴

Ef áður nefndar myndir eru skoðaðar sést að niðurbeygja á yfirborði undirbyggingar er svipuð fyrir öll veghlot og óháð hjólagerðum. Hún mælist þó ávallt um tvöfalt meiri undan 80 kN álagi en 30 kN álagi. Þetta gæti bent til þess að ástæða hrörnunar allra veghlotanna verði að leita í yfirbyggingunni, samanber einnig samanburð á mældum spennum í yfirborði undirbyggingar hér á eftir.

Tafla 6: Mæld niðurbeygja fyrir mismunandi álag og hjólagerðir, á yfirborði neðra burðarlags IS01, IS02 og IS03

Álag		mæld niðurbeygja [mm]		
		IS01	IS02	IS03
Einf. hjól í stöðu 0	80 kN	0,68	0,80	0,68
	30 kN	0,28	0,35	0,30
Tvöf. hjól í stöðu -15	80 kN	0,65	0,60	0,60
	30 kN	0,25	0,25	0,25

Hægt er að skoða áhrif álagSENDURTEKNINGA á mælda niðurbeygju fyrir veghlot IS02 og IS03. Það er sýnt á myndum 32, sem sýnir breytingu á yfirborði neðra burðarlags fyrir IS02, og 63 sem sýnir breytinguna fyrir mismunandi mæla. Ef niðurstöður fyrir mælingu á yfirborði neðra burðarlags fyrir 50 kN álag eru skoðaðar, sést að aukningin er frá 0,6 til 0,9 mm í IS02, en um 0,4 til 0,6 mm í IS03 þ.e. aukningin er 50% í báðum tilvikum. Í báðum tilvikum er aukning í niðurbeygju við það að vatni er hleypt í gryfjuna.

4.3 Mæling á spennu

Hægt er að bera saman spennur mældar á mismunandi dýpi í veghlotunum þremur. Á myndum 21, 33 og 65 er sýnt hvernig spenna breytist sem fall af dýpi. Á myndunum eru sýndar niðurstöður fyrir allar mælingar, þ.e. mismunandi álag og loftþrýsting í dekki og fyrir IS02 og IS03 annars vegar fyrir álag einfalds og hins vegar tvöfalds hjóls. Við samanburð er rétt að skoða meðaltal fyrir ákveðin álagstilvik og aðstæður sem eru sambærilegar fyrir allar uppbyggingarnar.

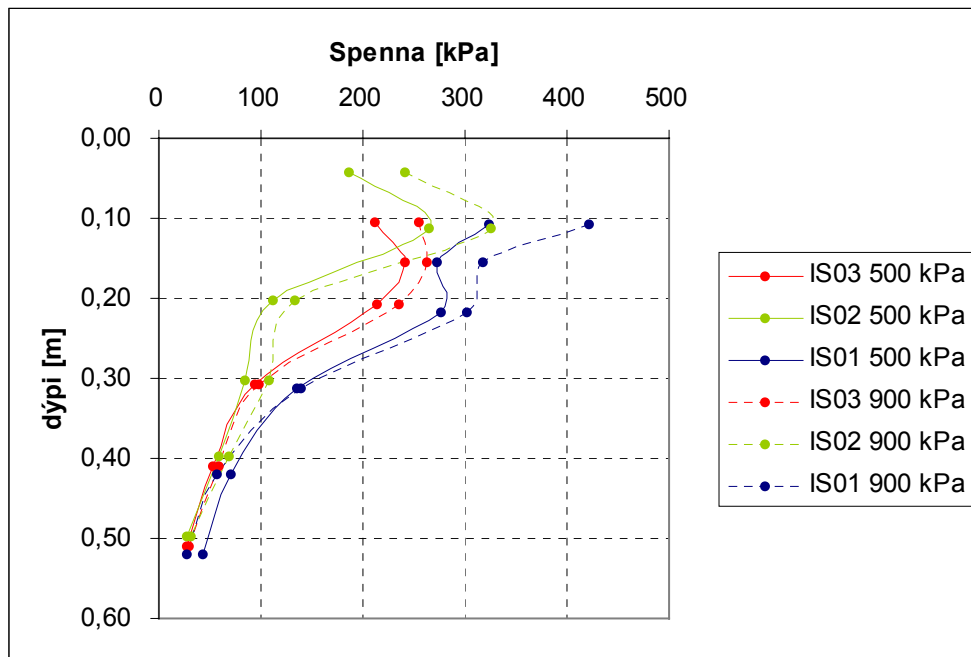
Á myndum 83 og 84 er sýnd meðalspenna sem mælist í hinum mismunandi veghlotum í mismunandi dýpi, fyrir annars vegar sama álag einfalds hjóls og mismunandi loftþrýsting í dekki og hins vegar fyrir sama loftþrýsting og mismunandi álag. Það sem vekur athygli þegar myndirnar eru skoðaðar er einkum tvennt. Í fyrsta lagi, þá mælist spenna í yfirborði neðra burðarlags (í um 0,2 m dýpi) hærri í veghloti IS03 en í IS02, en mest mælist hún þó í veghloti IS01. Í öðru lagi að þegar komið er niður í um 0,4 m dýpi, þ.e. niður á yfirborð undirbyggingar, þá mælist spennan svipuð í öllum veghlotunum, við sama álag og loftþrýsting í dekki. Það styður enn þá ályktun sem fram kom í kaflanum hér á undan, að ástæður hrörnunar vegarins verði að leita í yfirbyggingunni, það eru sem sagt gæði hennar sem ræður “líftíma” þessarar veghlota. Hins vegar er hugsanlegt að þegar niðurbrot er komið fram þar, verði áraunin á

⁴ Rétt er að minna á að LVDT mæliar merktir með “C” eru í stöðu +13 miðað við miðlínu, þannig að þega tvöfalt hjól er í stöðu -15, er annað hjólið um það bil á miðlínu, en hitt í stöðu -35

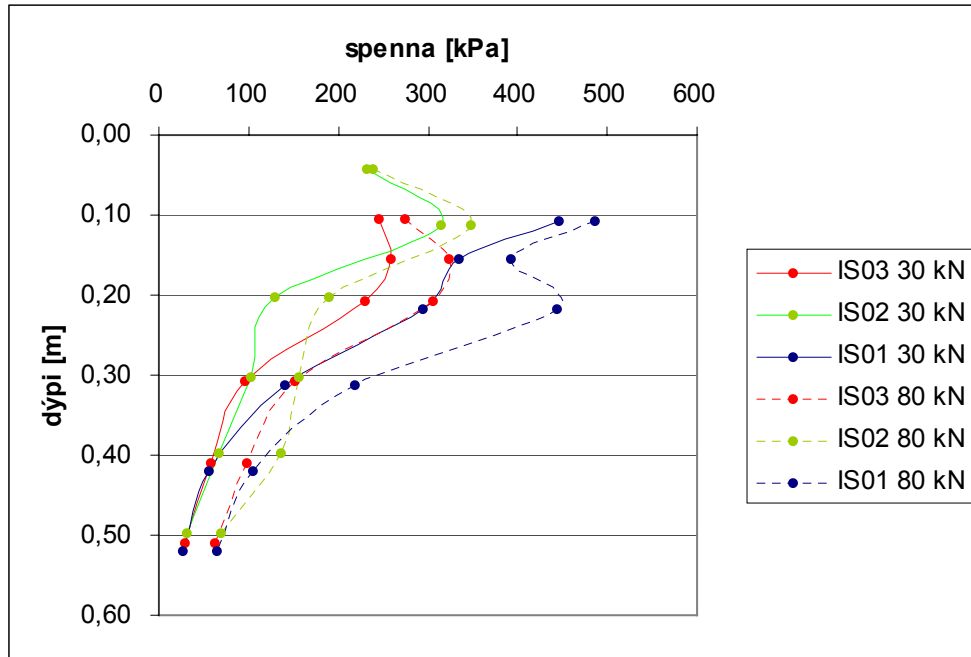
undirbygginguna mismunandi og hún getur haft stærra hlutverk á seinni árum á líftímanum.

Á áður nefndum myndum kemur einnig fram að spennu mælist lægri með mælum sem liggja efst, bæði í IS02 og IS03. Þetta er ekki það sem búast mætti við, sjá umræðu í viðauka IV

Varðandi mun á spennu í yfirborði neðra burðarlags má geta þess að í heimild [2] er greint frá niðurstöðum fræðilegra reikninga fyrir spennur sem fall af dýpi fyrir veghlott IS02. Þar kemur fram að spennur í um 0,2 m dýpi reiknast heldur hærri en hér kemur fram, eða um það bil 350 kPa að meðaltali (þar er reyndar miðað við 60 kN álag og mismunandi loftþrýsting í dekkjum). Þetta gæti bent til þess að mældar spennur á yfirborði neðra burðarlags IS02 séu of lágar.

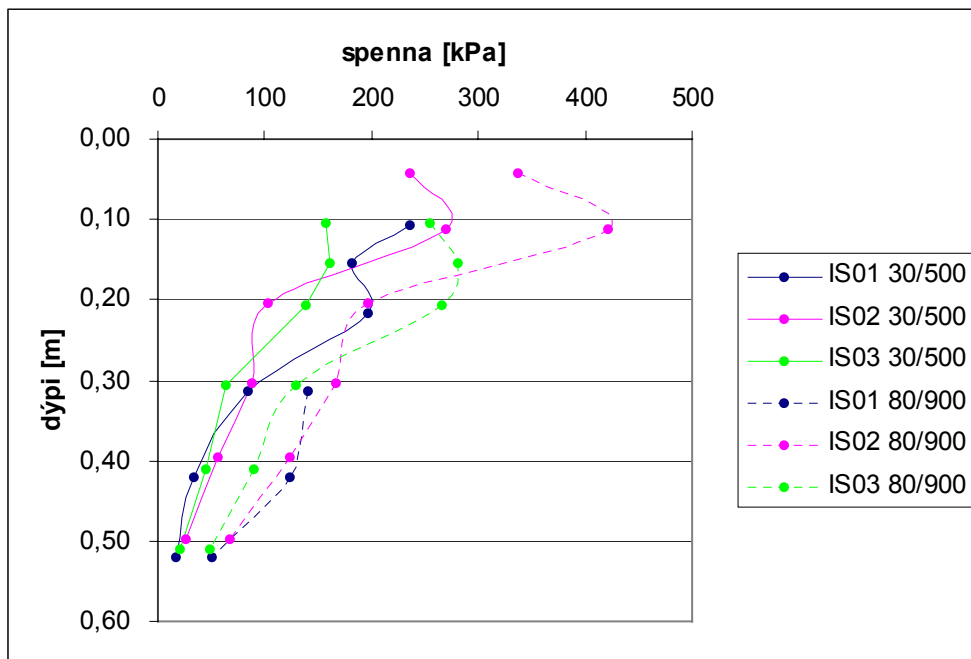


Mynd 83: Spenna í mismunandi dýpi undir miðju álagi einfalts hjóls, álag er 30 kN og loftþrýstingur í dekki er mismunandi (500 eða 900 kPa). Sýnt er meðaltal mælinga í hverri dýpt.



Mynd 84: Spenna í mismunandi dýpi undir miðju álagi einfalds hjóls, loftþrýstingur í dekki er 800 kPa en álag mismunandi. Sýnt er meðaltal mælinga í hverri dýpt.

Ef skoðaðar eru niðurstöður mælinga undir tvöföldu hjóli í stöðu -15, koma sambærilegar niðurstöður í ljós, sjá mynd 85. Spenna mælist meiri í yfirborði neðra burðarlags (0,2 m dýpi) í IS03 en IS02.



Mynd 85: Spenna (meðaltal) í mismunandi dýpi, 15 cm frá miðju, undir álagi tvöfalda hjóls með mismunandi álag og loftþrýstingur í dekki (línur merktar með veghloti og álag/loftþrýstingur). Engar mæliniðurstöður eru ofan við 0,3 m dýpi fyrir IS01 80/900.

Ofangreindar niðurstöður koma nokkuð á óvart. Fræðilega séð ætti spennan á yfirborði neðra burðarlagsins að vera hærri í IS02 en IS03, a.m.k. ef gert er ráð fyrir að stífleiki bikbundna lagsins sé meiri en óbundna lagsins. Niðurstaða bakreikninga

falllóðsmælinga benda til að stífleiki bikbundna lagsins sé meiri, sjá heimild [3]. Rétt er þó að geta þess að hugsanlega getur ólínuleg hegðun efnisins í óbundna burðarlaginu í IS02 einnig skýrt þennan mun.

Athugun á breytingu í mældum spennum sem fall af fjölda álagsendurtekninga fyrir IS02 og IS03, sjá myndir 41 og 73, sýna að spennur hafa í báðum tilvikum tilhneigingu til að aukast. Það má skýra með því að við endurtekið álag, þjappast efnið og stífleiki þess eykst. Eftir að vatn kemur í undirbygginguna (sandinn), mælist spennan í yfirborði neðra burðarlags lægri fyrir bæði IS02 og IS03. Það er eðlilegt ef gert er ráð fyrir að stífleiki vatnsmettaðrar undirbyggingar sé minni en þurrar. Spennur í yfirborði undirbyggingarinnar mælast einnig lægri eftir að vatn kemur í undirbygginguna fyrir IS02, en ekki fyrir IS03. Skýring er ekki handbær á því.

Ef bornar eru saman spennur sem mælast við lok keyrslu, þ.e. eftir tæplega 500 þúsund álagsendurtekningar, kemur í ljós að þær mælast heldur hærri á yfirborði undirbyggingar og neðra burðarlags fyrir IS03 en IS02, sjá töflu 7. Fræðilega séð ættu spennur í IS02 að mælast hærri miðað við ætlaðan stífleika efnanna, en skýringar eru ekki handbærar á þessu, nema ef vera kynni áður nefnd ólínuleg hegðun efna í óbundna burðarlaginu.

Tafla 7: Mældar spennur [kPa] við lok keyrslu IS02 og IS03 (eftir tæplega 500.000 álagsendurtekningar. Mælt undir öðru hjóli parhjóls (staða +/-15 cm).

dýpi	IS02	IS03
c.a 20 cm	200	300
c.a 40 cm	100	120

4.4 Mælingar á lóðréttri streitu

Eins og fram hefur komið áður í þessari skýrslu, eru niðurstöður mælinga á lóðréttri streitu (með s.k. EMU-coils) á mismunandi stöðum í uppbyggingunni, stundum vafasamar. Samanburð verður því að taka með varúð vegna þess. Engin gögn eru til samanburðar frá veghloti IS01. Það er svo í raun aðeins mælingar í miðju neðra burðarlagi IS02 og IS03, sem hægt er að bera saman beint. Aðrar mælingar eru í öðru hvoru tilvikinu taldar óáreiðanlegar eða eru ekki gerðar í sama dýpi.

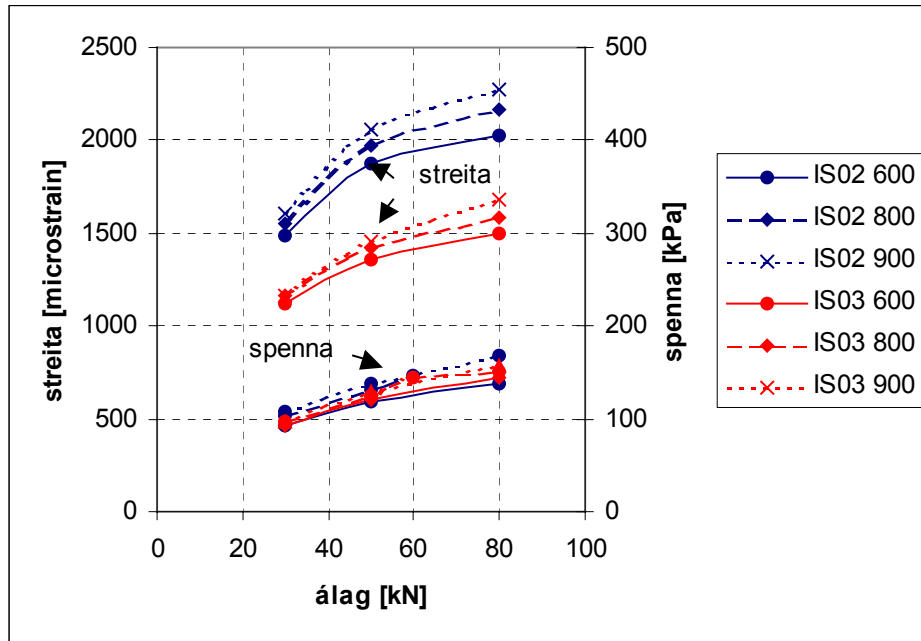
Í töflu 8 kemur fram að streita mælist að meðaltali, fyrir öll álgstílvik, heldur meiri í miðju neðra burðarlagi IS02 en IS03. Í miðju neðra burðarlagi, mælist streita svipuð hvort sem tvöfalt hjól er í stöðu 0 eða -15.

Tafla 8: Mæld dynamisk streita í miðju neðra burðarlagi IS02 og IS03.

Álag	mæld streita [mikrostrain]			
	IS02	IS03	IS02/IS03	
Einf. hjól í stöðu 0	80 kN	2100	1600	1,31
	30 kN	1600	1100	1,45
Tvöf. hjól í stöðu 0 og -15	80 kN	1600	1100	1,45
	30 kN	1200	900	1,33

Á mynd 86 er sýnt samband álags og lóðréttrar streitu í miðju neðra burðarlagi. Mælingarnar voru gerðar með einföldu hjóli í stöðu 0 og loftþrýstingur í dekki er mismunandi. Sjá má að streitan er ávallt hærri í IS02. Til samanburðar má skoða spennuna sem mæld er í miðju neðra burðarlaginu, sem einnig er sýnd á myndinni fyrir sömu álagstílvik. Eins og sést, mælist spennan nánast hin sama í báðum

veghlotunum. Vegna mismunar í mældri streitu, bendir þetta til að E-módúll neðra burðarlags sé mismunandi fyrir veghlot IS02 og IS03, heldur hærri fyrir IS03, þó efnið sé það sama. Niðurstöðður bakreikninga efnisstuðla út frá falllódsmælingum gefa reyndar til kynna að svo gæti verið, sjá heimild [3]. Þessar vangaveltur gera ráð fyrir að niðurstöður mælinga á bæði spennu og streitu séu “réttar”.



Mynd 86: Samband álags einfalds hjóls í stöðu 0 og streitu í miðju neðra burðarlagi (fyrir mismunandi loftþrýsting í dekki, samanburður milli veghlota IS02 og IS03. Á línuritinu er einnig sýnd mæld spenna í sömu dýpt, sem fall af álagi, spennan er á bilinu 100 til 150 kPa.

5. Lokaorð

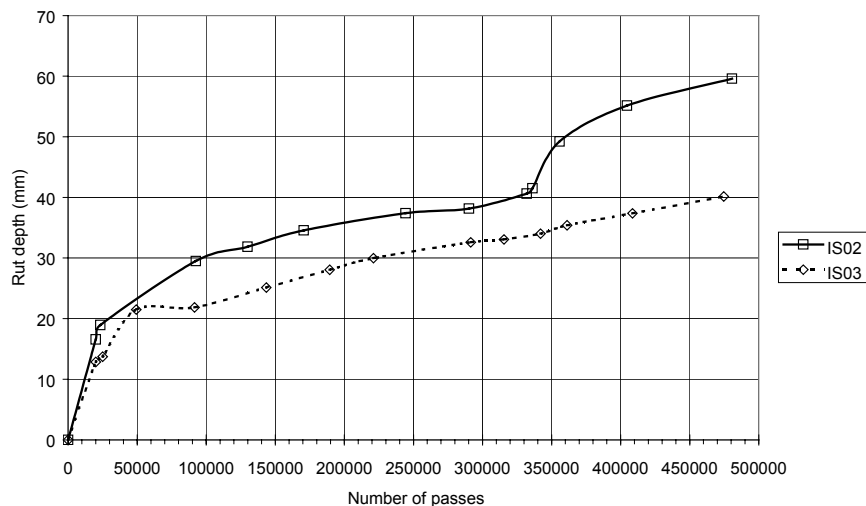
Við HVS-mælingar á íslenskum veghlotum í Svíþjóð, var safnað miklu af mæligögnum um mismunandi svörun þeirra við álagi. Gögnin bjóða upp á margvíslega skoðun og úrvinnslu. Í þessari skýrslu hafa verið tekin dæmi um niðurstöður og mismunandi veghlot borin saman.

Í sumum tilvikum koma niðurstöður á óvart og eru ekki í samræmi við það sem búast mætti við. Hér verða tilgreind nokkur dæmi, ásamt hugsanlegum skýringum:

- ◆ Niðurstöður spennumælinga gefa til kynna að spennan sé ekki mest efst í veghlotinu og minnki þegar neðar dregur. Í viðauka IV er rætt um hugsanlegar ástæður þessa. Niðurstaðan er sú að mælingar á spennu í efri hluta veghlotanna sýni of lág gildi, en ekki er einhlít skýring á því.
- ◆ Annað sem kemur á óvart, er munur á mælingum sem gerðar eru rétt áður en vatn er fyllt í gryfjuna og eftir það. Til dæmis má taka yfirborð neðra burðarlags, þar vex mæld niðurbeygja talsvert strax eftir að vatn er komið í, en mælist svo minni við lok keyrslunnar, einkum fyrir IS02. Hins vegar mælist spennan minni og fyrir IS02 heldur hún áfram að minnka og mælist enn minni við lok keyrslu, meðan það er ekki eins greinilegt fyrir IS03. Það er ákveðin mótsögn í þessu, þar sem búast mætti við að spennan aukist um leið og niðurbeygjan eykst. Ef til vill á aukin þjöppun með auknum stífleika efna efri lögum og þar af leiðandi aukinni spennudreifingu þátt í að skýra þessa hegðun.
- ◆ Munur er á spennumælingum í IS02 og IS03, þannig að þegar borin er saman svörun undan einföldu hjóli annars vegar og tvöföldu hins vegar, þá mælist spennan í efri hluta veghlotsins meiri undan tvöföldu hjóli í IS02, en sá munur er ekki fyrir hendi í IS03. Búast hefði mátt við því að svo væri, þar sem gera má ráð fyrir áhrifum af báðum hjólum þegar um tvöfalt hjól er að ræða.
- ◆ Annað sem kemur á óvart í samanburði IS02 og IS03 er að spenna mælist hærri í yfirborði neðra burðarlags IS03, þó fræðilega ætti hún að vera minni, vegna þess að stífleiki bikbundna lagsins er meiri en óbundna lagsins. Hugsanlega er skýringin á þessu sú að bikbundna lagið var ekki búið að ná upp fullum styrk meðan á prófunum stóð (sjá heimild [1]), heldur var neðri hluti þess enn sundurlaus. Það kann því að vera að stífleiki í bikbundna laginu hafi verið mismunandi eftir dýpt, þó hann reiknist að meðaltali meiri en í óbundna laginu (sjá heimild [3]). Önnur skýring kann að vera ólínuleg hegðun óbudna efnisins í burðarlagi IS02, eins og vikið er að hér að framan.

Varðandi niðurstöður streitumælinga með EMU-coils, er rétt að benda á það sem fram kemur í viðauka II, að ekki var mikil reynsla komin á notkun slíkra mæla hjá Svíum, þegar mælingarnar voru gerðar fyrir okkur. Til dæmis hafa þeir síðar rekist á það að það skiptir máli í hvaða stöðu álagsbúnaðurinn er, þegar gerðar eru mælingar til að finna statíska fjarlægð milli spólanna (sem eru síðan notuð til að reikna dynamisku streituna). Mismunandi staða álagsbúnaðarins getur haft áhrif á rafsvið og ruglað niðurstöður. Einnig skiptir máli hvar hjól er staðsett, þvert á akstursstefnu, þegar það fer síðustu umferð fyrir statísku mælinguna. Mælingar með EMU-coils, í okkar tilviki, verður því að skoða með fyrirvara.

Þegar veghlotin sem prófuð voru eru borin saman, sjá kafla 4, vekur athygli að svörun í neðri hluta þeirra er svipuð, en mismunur kemur fremur fram í efri hlutanum. Ýmis hönnunarforrit skoða til dæmis spennur eða streitu í yfirborði undirbygginga og slík forrit myndu væntanlega komast að því að ending beggja kaflanna væri sú sama, ef miðað væri við mæld gildi. Miðað við þróun hjólfaramyndunar í köflunum, er endingin þó ekki sú sama, samanber mynd 87 (sjá heimild [4]). Það er því fróðlegt að nota mismuandi hönnunarlíkön til að kanna hvaða niðurstöðu þau komast að fyrir þessi veghlot.



Mynd 87: Þróun hjólfaradýptar sem fall af fjölda álagsendurtekninga, fyrir IS02 og IS03

Auk þess sem hér var nefnt er einnig fróðlegt að bera saman niðurstöðu mælinga og niðurstöður reiknaðrar svörunar með “einföldum” líkönum, þ.e. þeim sem gera ráð fyrir línulega fjaðrandi eiginleikum efna. Nú þegar hefur verið skoðað hvernig niðurstöðum smábútaforrita (finite element) ber saman við ákveðnar niðurstöður [2] og eru niðurstöður jákvæðar. Hins vegar má taka undir orð Per Ullidtz, sem féllu á 9. alþjóðlegu ráðstefnu um vegagerð í Kaumannahöfn sumarið 2002 [5], að þó það sé freistandi að trúá því að flóknari líkön gefi betri niðurstöður en einföld líkön, þá þurfi það ekki að vera svo. Ef niðurstöður einfaldra líkana er jafn góðar (eða betri) borið saman við mæld gildi ætti fremur að nota þau, a.m.k. í rútínuvinnu. Ástæðan er sú að einföldu líkönin eru fljótari að vinna, og eru að auki einfaldari í notkun en hin.

Eins og hér er nefnt, eru ýmsir möguleikar á frekari skoðun á þessum gögnum. Þau, þ.e.a.s. toppgildin, eru til á excel formi, en einnig er stefnt að því að koma þeim inn í sameiginlegan gagnagrunn Finna og Svía.

Heimildir

- [1] Þórir Ingason: “HVS-Nordic – Íslensk þátttaka, framkvæmdaskýrsla”, Vegagerðin, desember 2000.
- [2] Sigurður Erlingsson: “3-D FEM analysis of a test road structure – comparison with measurements”, grein birt á ráðstefnu BCRA í Lissabon, 2002
- [3] Þórir Ingason: “HVS-Ísland – Bakreikningar efnisstuðla út frá falllóðsmælingum” skýrsla Rb nr 02-01, janúar 2002.
- [4] Þórir Ingason, Leif G Wiman, Hreinn Haraldsson: “HVS-testing of Icelandic low volume road structures”, 9th International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, 2002
- [5] Per Ullidtz: “Analytical tools for design of flexible pavements”, keynote address, -th International Conference on Asphalt Pavements, Copenhagen, 2002

VIÐAUKI I

*Skrá yfir skjöl sem innihalda niðurstöður
hámarksgilda svörunarmælinga*

Skrá yfir skjöl sem innihalda niðurstöður hámarksgilda svörunarmælinga

Eftirfarandi tafla sýnir yfirlit yfir skjöl sem innihalda niðurstöður hámarksgilda svörunarmælinga fyrir mismunandi veghlot, hjólagerð, staðsetningu hjóla og mismunandi svörunarmæla:

<i>is01single centre asg.xls</i> <i>is01single centre lvd.xls</i> <i>is01single centre spennur.xls</i> <i>is01single centre emu.xls</i> <i>is01single distribution asg.xls</i> <i>is01single distribution lvd.xls</i> <i>is01single distribution spennur.xls</i> <i>is01single distribution emu.xls</i>	<i>is02single centre lvd.xls</i> <i>is02single centre spennur.xls</i> <i>is02single centre emu.xls</i> <i>is02single distribution lvd.xls</i> <i>is02single distribution lvd.xls</i> <i>is02single distribution emu.xls</i>	<i>is03single centre asg.xls</i> <i>is03single centre lvd.xls</i> <i>is03single centre spennur.xls</i> <i>is03single centre emu.xls</i> <i>is03single distribution asg.xls</i> <i>is03single distribution lvd.xls</i> <i>is03single distribution spennur.xls</i> <i>is03single distribution emu.xls</i>
<i>is01par centre og -15 asg.xls</i> <i>is01par centre og -15 lvd.xls</i> <i>is01par centre og -15 spennur.xls</i> <i>is01par centre og -15 emu.xls</i> <i>is01par distribution asg.xls</i> <i>is01par distribution lvd.xls</i> <i>is01par distribution spennur.xls</i> <i>is01par distribution emu.xls</i>	<i>is02par centre og -15 lvd.xls</i> <i>is02par centre og -15 spennur.xls</i> <i>is02par centre og -15 emu.xls</i> <i>is02par distribution lvd.xls</i> <i>is02par distribution spennur.xls</i> <i>is02par distribution emu.xls</i>	<i>is03par centre og -15 asg.xls</i> <i>is03par centre og -15 lvd.xls</i> <i>is03par centre og -15 spennur.xls</i> <i>is03par centre og -15 emu.xls</i> <i>is03par distribution asg.xls</i> <i>is03par distribution lvd.xls</i> <i>is03par distribution spennur.xls</i> <i>is03par distribution emu.xls</i>

Skýringar:

IS01: veghlot IS01, bikbundið burðarlag, (misheppnuð uppbygging).

IS02: veghlot IS02, óbundið efra burðarlag.

IS03: veghlot IS03, bikbundið burðarrag, (endurtekning á IS01).

Single: einfalt hjól

Par: tvöfalt hjól

Centre: hjól, eða hjólapar, fer eftir miðlínu

Centre og -15: niðurstöður frá mælingum þegar hjól, eða hjólapar, fer eftir miðlínu og í stöðu -15 cm frá miðlínu

Distribution: niðurstöður mælinga þegar hjól færast þvert á akstursstefnu

Asg: streitumælar í neðri brún bikbundinna laga

Lvd: niðurbeygjumælar

Emu: streitumælar sem mæla lóðréttu streitu á 10 cm bili niðri í veghlotinu.

[Hægt er að fá skjölin til frekari skoðunar, með því að hafa samband við skýrsluhöfund.]

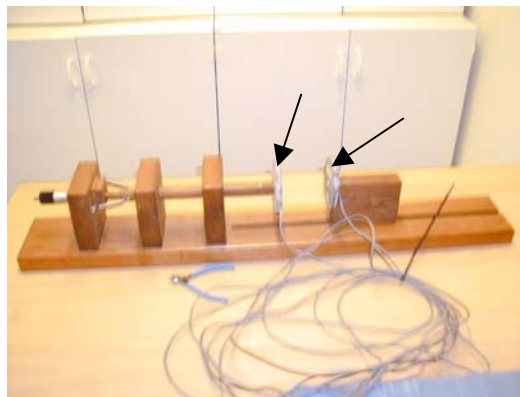
VIÐAUKI II

EMU-coils til mælinga á lóðréttri streitu

EMU-coils til mælinga á leiðréttri streitu

Hér fer á eftir lýsing á því hvernig skráð gildi úr svokölluðum EMU-coils mælum eru umreiknuð í raungildi (streitu [míkróstrain]), út frá kvörðun sem gerð er fyrir hvern mæli fyrir sig.

EMU-coils mælarnir eru gerðir þannig að rafspólum er komið fyrir í plasthulsum (plötum). Þessum plötum er komið fyrir tveimur saman, með um 10 cm millibili í þeirri dýpt, sem mæla á streituna. Mælarnir mæla þannig í raun streitu á þessu 10 cm bili. Á myndinni hér fyrir neðan er EMU-coils mælum stillt upp vegna kvörðunar þeirra, örvarnar benda á plasthulurnar (plöturnar).



Þegar merki frá nemunum eru umreiknuð, þarf fyrst þarf að reikna aflesturinn yfir í spennu (volt). Það er gert með umreiknistuðli (“**scalefactor**”), en hann er hinn sami á öllum tilvikum sem hér um ræðir og segir fyrir um hversu mörg volt eru í hverjum “punkti” á skalanum fyrir merki frá nemunum (**scalefactor = 10 volt/32768**).

Við upphaf hverrar mælingar, áður en álagið er sett á, er skráð merki sem neminn gefur frá sér (statískt gildi). Hægt er nota statíska kvörðun mælanna (með bestun á sambandi fjarlægðar milli spóla og statískrar spennu) til að umreikna þessi merki þannig að þau gefa fjarlægð milli spólanna (F). Þessar mælingar má skoða til dæmis sem fall af fjölda álagsendurtekninga og fá þannig varanlega streitu, eða samþjöppun í efninu á viðkomandi stað.¹

Til að fá fram fjaðrandi (dynamiska) streitu, þ.e. streitu undan álagi hvert sinn, þarf að nota “dynamiska” kvörðun mælanna. Þegar búið er að reikna merkin yfir í spennu (volt) eru þau reiknuð yfir í streitu með gögnum frá kvörðun mælanna. Almennt er líkingin fyrir reikningana eftirfarandi:

$$\text{Streita [míkróstrain]} = 10^7 * (V * L) / F$$

Þar sem

V er spennan í voltum

L er leiðrétstistuðull

F er fjarlægð milli spólanna fengin með statískum mælingum

¹ Þegar þessar “statísku” mælingar voru gerðar í þessu verkefni, var þess ekki gætt að álagsbúnaðurinn væri ávallt í sömu stöðu, né heldur að síðasta yfirferð álagshjólans fyrir mælingu væri ávallt eins. Það hefur síðar komið í ljós að þetta hvor tveggja getur skipt máli. Til dæmis ef hjólið fer síðustu yfirferð utan við miðlínu, getur það leitt til að fjarlægðin mælist meiri (spennurnar lægri) en ef hjólið fer síðustu ferð eftir miðlínu. Mælingarnar í okkar tilviki verður því að skoða með þessum fyrirvara.

Leiðréttistuðullinn L fæst á eftirfarandi hátt:

$$L=0,4/\Delta a$$

Þar sem talan 0,4 er fjarlægð milli spólanna þegar “dynamisku” kvörðunargildin eru skráð (þau eru skráð við +0,2mm og -0,2mm) og Δa er “absalut” munur á kvörðunargildunum, sem fæst út úr bestun á “dynamisku” sambandi fjarlægðar milli spóla annars vegar í stöð +0,2 mm og hins vegar í stöðu -0,2 mm.

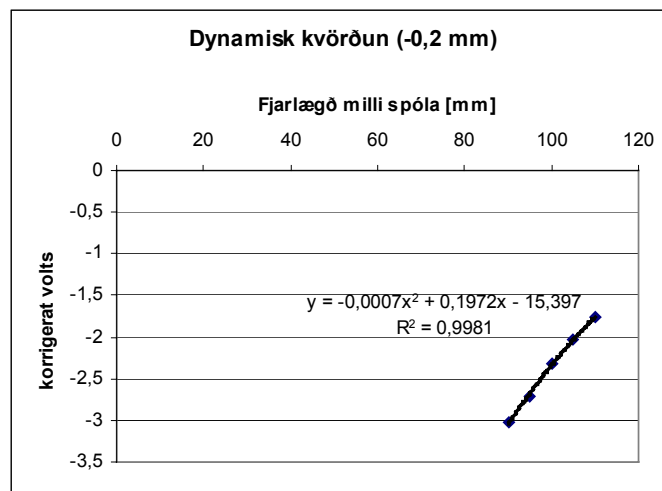
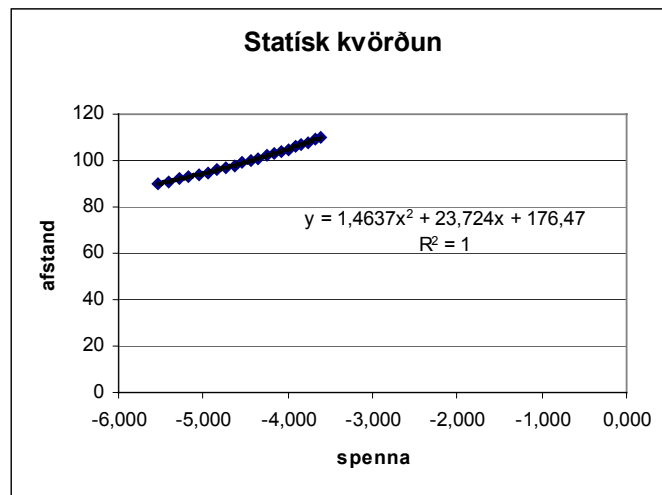
Í ljós kom að margliðu nálgun af annarri gráðu gaf besta nálgun á kvörðunargildunum, bæði fyrir fjarlægð milli spólanna við statíska spennu og eins fyrir “dynamisku” kvörðunargildin .

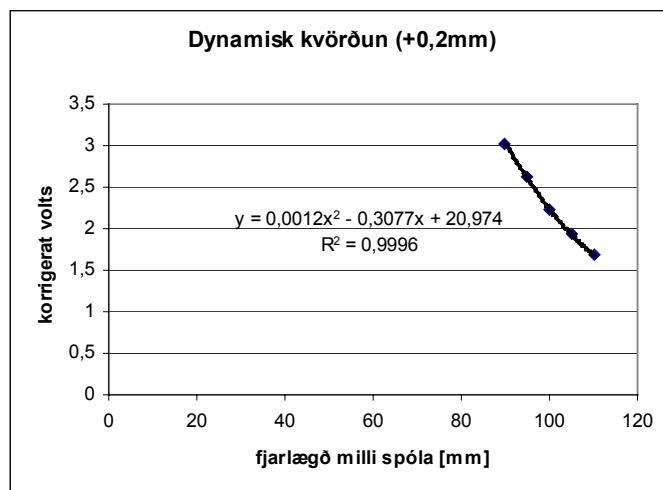
Heildarlíkingu fyrir dynamiska streitu má því skrifa:

$$\text{Streita [míkróstrain]} = 10^7 * (V * (0,4 / ((a * F^2 + b * F + c) - (d * F^2 + e * F + f))) / F)$$

Þar sem V og F eru eins og áður er greint frá, en a , b , c , d , e og f eru stuðlar í aðhvarfslíkingu fyrir “dynamisku” kvörðunargildin. (F er fengið út frá samskonar líkingu fyrir statísk gildi).

Dæmi um líkingar fyrir mæli merktan EMU5 (notaður í vahloti IS02) eru sýnd hér fyrir neðan, en samskonar gildi eru einnig til fyrir aðra mæla sem hér eru notaðir.





VIÐAUKI III

Athugasemdir skráðar við yfirferð gagna

Athugasemdir skráðar við yfirferð gagna

Athugasemdir sem skráðar voru við yfirferð gagna eru hér birtar til að halda utan um vangaveltur um áreiðanleika mælinganna. Í mörgum tilvikum geta þær virst óskiljanlegar, en geta hugsanlega hjálpað til við að skýra einhverjar niðurstöður sem kunna að teljast vafasamar. Athugasemdirnar eru tengdar við Excel skjöl, sem innihalda niðurstöður, sjá lista í viðauka I.

IS01

IS01, single centre, asg

80 kN við 500 kPa sýnir lægra gildi en 30 kN við sama loftþýsting. Sama gildir fyrir 800 kPa loftþýsting. Spurning hvort þetta er eitthvað til að byggja á miðað við að bikið var mjög mjúkt.

IS01, single centre, lvd

Mælar 13 og 14 detta strax út og sýna enga svörun. Mælir 15 B sýnir minna útslag, en til dæmis 15 C, þó hann liggir ofar í uppbyggingunni. Þetta er “skekka” sem virðist ganga í gegnum allar mælingarnar og hefur ekki fengist skýring á henni. Að öðru leyti er svörunin svipuð miðað við breytileika í álagi.

IS01, single centre, spennur

Mælingum sem gerðar voru á “hægum” hraða hent út, sbr töfluna á bls 66 í framkvæmdaskýrslunni [1]. Mynstur í mælingunum annars mjög svipað milli mæla. Nokkuð samband milli dýptar og mældrar spennu.

IS01 single centre emu

Erfitt að ná niðurstöðum inn í excel skjal, þar sem tölurnar eru svo háar. Svo virðist vera aðallega um mæli 3 (tölugildin sveiflast frá –15.000 upp í yfir 30.000), en mælir 2 niðri í sandinum sýnir “eðlilegri” hegðun og mun minna útslag. E.t.v. má vinna hann frekar. [Það er þó gagnslaust, þar sem statísk spenna við upphaf mælinga var ekki skráð, þannig að ekki er hægt að reikna svörunina, þ.e. voltin, yfir í streitu fyrir þessi álagstilvik.]

IS01, single distribution spennur.

Mælir 59 sýnir “eðlilega” dreifingu, miðað við hina, sem allir virðast vera “eðlilegir”. Spurning hvort rétt sé að taka meðaltal úr niðurstöðum mælinga í sömu dýpt, eða skoða einstaka mæla hvern fyrir sig. Athuga þarf athugasemdir í “fel” hluta skjalsins.

IS01, single distribution, asg

Mælingar S8 eru ekki með, mappan er auð. Fellur því út. Athuga þarf hvort jákvæð og neikvæð gildi eru í samræmi við það sem vænta má. Nokkrar mælingar voru leiðréttar handvirkt. Grunsamleg gildi fyrir mæli 64 (álag S16), liggur nálægt 11.800 í hverju tilviki? Einstaka mælar voru án merkis og voru þá þurrkaðir út. Mælir 64 sýnir undarlega hegðun. Annars sýna “sléttutölu”-mælarnir (sem mæla togstreitu í sömu átt og hjólið fer) jákvæða streitu, sem dreifist nokkuð jafnt. Oddatölumælarnir (sem mæla þvert á stefnu hjólsins) sýna breytingu frá “+” í “-“, sem er eðlilegt.

IS01, single distribution, lvd

Mælar 13 og 14 detta strax út og sýna enga svörun. Í nokkrum tilvikum var svörun mælis nr. 15A þannig að hún hliðraðist upp á við, toppgildin voru í raun rétt, en ákveðið var að henda mælingunum út. Ákveðið að henda jákvæðum gildum út. Dreifingar virðast eðlilegar, þó er 15C þannig að hann virðist vera hliðraður frá miðju. Sigið virðist aukast með auknum loftþrýstingi. Mælir 15B sýnir minna sig en 15C, sem er sama óútskýranlega skekkjan og áður hefur verið nefnd.

IS01 single distribution emu

Í fljótu bragði virðast niðurstöður mælis 2 vera eðlilegar og án frávika. Mælir 3 sýnir hins vegar veruleg frávik í mörgum tilvikum. Fara þarf yfir niðurstöður hans áður en unnið verður frekar með það. [Frekari úrvinnsla er ekki möguleg, þar sem statísk spenna við upphaf mælingar var ekki skráð og þar með ekki hægt að umreikna svörun mælanna, þ.e. voltin, í streitu.]

IS01 par centre og -15, asg

Mælar 62 og 64 sýndu engin merki frá byrjun. Eitthvað virðist brogað við mæli nr 56. Hann sýnir eðlilega hegðun fyrst (jákvæð gildi), en dettur svo niður í neikvæð gildi þegar loftþrýstingurinn er aukinn í 900 kPa og eftir það er hann eitthvað skritinn. Vafasamar mælingar. Annars virðist hegðun mælanna nokkuð eðlileg, togið minnkar við minna hitastig og eykst svo aftur þegar það var aukið.

IS01 par, centre og -15, lvd

Í fyrstu yfirferð, voru nokkrar mælingar merktar “vafasamar” (Excel-skjal merkt slíkt). Þessar mælingar voru þurrkaðar út við þessa vinnslu. Athugasemdir eru við mæla 15B og 15C við 15°C keyrslu. Hreinsað til fyrir mæli 13. Niðurstöður fyrir mæli 14 eru fátæklegar og tæpast rétt að byggja neitt á þeim. Ekki virðist samræmi í hvernig mælar 15 A, B og C svara mismunandi álagi. Enn er 15B með minna útslag en 15C.

IS01 par, centre og -15, spennur

Tilhneiging til að spennumælar í miðju (miðað við langsnið), sýni hærri gildi en þeir sem eru til hvors enda, alla vega fyrir þá sem eru í nera burðarlagi og undirbyggingu. Annars virðist svörunin vera eðlileg miðað við álag og slíkt, m.a. aukast áhrifin af auknu álagi og loftþrýstingi meira ofar í uppbyggingunni.

IS01 par centre og -15 emu

Ekki var hægt að keyra villuleitina, vegna %-talnanna. Athuga að meðaltöl reiknuð út úr %-tölum, eru 100 sinnum of lágar, sýnist mér. Spurning hvort þessar %-tölur eru ekki óáreiðanlegar. [Svíar svara fyrirspurn um þetta mál, þannig að þeir hafi ekki lent í þessu. Hugsanlega hefur þetta eitthvað að gera með stillingu á tölvu sem notuð er hér.] Enn er það mælir 2 sem sýnir “eðlilega” hegðun, meðan mælir 3 er “vafasamar”. Í skýrslu er rétt að sýna hvernig svörunin er á þessum mismunandi mælum

IS01 par, distribution, asg

Mælar 62 og 64 sýndu engin merki frá upphafi og eru því ekki með. Mikið er um “fel”-meldingar, en við skoðun á dreifingu virðist ekki vera mikið um rugling. Þetta þarf þó að skoða betur, til dæmis hvort “+” og “-“ (tog og þrýstingur) er eðlilegt (virðist vera það í fljótu bragði).

IS01 par, distribution, lvd

Mikið af villum koma fram fyrir mæla 13 og 14 og e.t.v. rétt að skoða þá með fyrirvara í öllum tilvikum. Merkin taka stundum jákvæð stökk upp á við í eitt sinn og er það oft skráð sem toppur. Það hlýtur einnig að þýða að eitthvað óeðlilegt er við svörun mælisins. Þessar villur koma sumar ekki fram þegar leitað er eftir miklum mun á mældum gildum í forriti Sven Agardh. Frá og með álagstilviki P24, virðist mælir 14 detta út. Ákveðið að henda burtu mælingum sem hafa nákvæmlega jafnhá toppgildi, bendir til að eitthvað sé að merkinu. Enn er munur á mælum 15C og 15B í öfugu hlutfalli við staðsetningu þeirra í uppbyggingunni.

IS01 par, distribution, spennur

Nokkuð samræmi í niðurstöðum, miðað við dýpt. Nemar djúpt í veghlotinu nema ekki bæði dekkinn, heldur safnast áhrifin saman í þeim. Nemar ofar sýna toppa undir hvoru hjóli um sig. Hins vegar er nokkur munur á tölulegum niðurstöðum í nemum sem eru í sömu dýpt. Aukning álags virðist koma betur fram í neðri lögum, en hinum efri.

IS01 par distribution emu

Ekki hægt að keyra villuleitina. Svo virðist sem mælir 2 sé “eðlilegur”, en 3 hins vegar tæplega.

IS02

IS02 single centre lvd

Niðurstöður mælis 16 og reyndar allra mælanna eru eðlilegar. Aukin niðurbeygja með auknu álagi. Hraði hefur ekki áhrif. Mælir 17A sýnir meiri niðurbeygju en 16. Skýringin kann að liggja í stálplötunni sem sett var kringum mæli 16 og því eru niðurstöður frá honum ekki réttar. Hins vegar sýnir mælir 17B minna útslag en mælir 17C og er þetta regla sem gildir alls staðar í þessum mælingum, þó að C sé neðar en B í veghlotinu. Þetta hafa menn ekki getað skýrt út.

IS02 single centre spennur

Mælir merktur 23 er ekki með í neinu tilviki. Svörun mælanna er í samræmi innbyrðis, utan mismun á tölugildum í einhverjum tilvikum, til dæmis mælist lægri spenna í efstu þremur mælunum, en í þeim sem eru þar fyrir neðan. Eftir því sem ofar dregur í veghlotið, eru spennurnar minna háðar heildaralaginu, en aftur á móti virðast áhrif loftþrýstingins aukast.

IS02 single centre emu

Engin svörun kemur frá mæli númer 8, svo virðist vera sem hann hafi ekki verið tengdur, hann kemur til dæmis ekki fram í mæliskemanu frá Svíunum. Mælir 6 er vafasamur í mörgum tilvikum, virðist mega henda honum út fyrir allt.

IS02 single distribution lvd.

Þurkað burtu þar sem varanleg tilfærsla kom fram í einstaka mælingum. Mælir 16 sýnir minna útslag en 17A, vegna plötunnar. Aukinn loftþrýstingur hefur smávægilega aukningu í niðurbeygju í för með sér.

IS02 single distribution spennur.

Mælar 28 og 29 eru hugsanlegar hliðraðir. Nokkur munur á 30 og B. Áhrif aukast með auknum loftþrýstingi, kemur einnig fram í neðri hlutum. Mælar 66, 68 og 70 sýna lægri gildi en mælar 65, 67 og 69, þó hinir síðarnefndu séu neðar í uppbyggingunni. (Athuga að í mörum tilvikum mælist engin spenna við staðsetningar langt frá miðju. Þetta er hugsanlega ekki í samræmi í öllum mælingum sem ég hef unnið.)

IS02 single distribution emu.

Mjög mikið kemur fram af villum í villuleitinni, þó minnst fyrir mæli nr. 9. Hann sýnir “eðlilega” dreifingu miðað við færslu hjólsins og aðeins í fá skipti fer hann niður fyrir 0. Mælir 6 er vafasamur. Það koma fram niðurstöður, en þegar svörunin er skoðuð með “menu”-forritinu, eru þær afar undarlegar. Við endurtekið val toppgilda, kemur mælir 5 einnig ágætlega út. Mælir 4 sýnir undarlega hegðun sem fall af þverstaðsetningu hjólsins. Öðru megin er um neikvæða svörun að ræða og hinu megin er hún jákvæð. Skoðun á merkjum bendir til að toppgildin séu rétt fundin, en þessi svörun er óeðlileg. Fyrir mæli 7 má í mörgum tilvikum lesa toppgildi í “menu”-forritinu.

IS02 par center og -15 lvd

Mælir 16 sýnir minni niðurbeygju en mælir 17A, það er vegna stálplötunnar. Mælir 17B sýnir minna útslag en 17C, samanber það sem áður er margoft komið fram. Loftþrýstingur hefur lítil áhrif á niðurbeygjuna, en dreifing niðurstaðna er nokkur, sérstaklega fyrir mæli 17C. Álag hefur nokkur áhrif á niðurstöðuna.

IS02 par centre og -15 spennur

Ákveðið að þurrka út allt þar sem athugsemdir voru um “villu í mælingu” og einnig það sem merkt var “vafasöm mæling”. Ekki samband milli fjölda álagsendurtekninga og svörunar fyrir neðsta mælinn (nr. 27). Mælarnir á mörkum sandlags og neðra burðarlags, sýna svipaða hegðun, þannig að fjöldi álagsendurtekninga veldur aukinni spennu fyrst en fellur svo í lokin (gæti verið í samræmi við vatnið í uppbyggingunni?). Töluverður munur á tölugildum frá mælum 30 og B, þó þeir séu í sömu dýpt. Neikvæðar spennur mælast í efstu mælunum, sem eru rétt undir yfirborðinu. Það gerist þegar hjólaparið er staðsett í 0 stöðu, þannig að hjólin eru sitt hvoru megin við mælana. Eðlilega er minni munur á niðurstöðum fyrir stöðu 0 og -15 í neðri spennumælunum.

IS02 par centre og -15 emu.

Töluvert um neikvæð gildi, sem ekki finnast við villuleit. Í sumum tilvikum eru neikvæðu gildin hærri, eða jafnhá og hin jákvæðu, en í öðrum eru jákvæðu gildin mun hærri. Hægt er að lesa gildi úr “menu” forritinu og var það gert í sumum tilvikum. Yfirleitt eru þær tölur litaðar rauðar í skjalinu. Spurningin er hvort telja skuli þessi neikvæðu gildi, sem “rétt”. Til dæmis er hæpið að um sé að ræða “þenslu” niðri í sandinum, þó hjólið sé í stöðu -15. Þá er einnig spurning hvort jákvæð gildi sem eru upp á 30.000 eða meira séu rétt. Þau eru oft merkt með %-merki og þess vegna líklega utan sviðsins sem tölvuforritið er sett upp fyrir [eða skýrist af stillingu tölvu sem hér var notðu, samkvæmt svari frá Svíum við fyrirspurn um þetta mál.] Handúrinnsla, eins og hér var beitt, er afara tímafrek og tæpast til eftirbreytni.

IS02 par distribution lvd

Eitthvað “undarlegt” með mæli 17A, sem dettur niður í mælingum eftir HVS-prófið. Sá “tendens” kemur ekki fram í hinum mælunum. Engar niðurstöður eru frá mæli 16 við lok HVS-keyrslunnar. Mismunur á 17B og 17C er enn í “öfuga átt”. Fram kemur aukning á niðurbeygju við lok miðað við upphaf, því meiri sem mælarnir eru neðar í uppbyggingunni.

IS02 par distribution spennur

Hugsanlega sýnir mælir 29 vott af hliðrun. Mælir B sýnir svipuð tölugildi og mælarnir á mörkum neðra burðarlags og sands, mælir 30 sýnir hærra. Ekki mikill munur á mælum á mörkum efra og neðra burðarlags og til dæmis mæli 30, þó er mælir 64 hæstur. Áhrif bilsins á milli hjólanna verður meira áberandi þegar ofar dregur í veghlotið. Mismunurinn eykst líka með auknum loftþrýstingi. Mælarnir sem liggja efst í efra burðarlaginu sýna “undarlega” svörun. Svo virðist sem þeir eigi erfitt með að mæla svörun þegar þeir eru svona ofarlega í veghlotinu.

IS02 par distribution emu

Töluvert af villum koma fram við fyrstu villuleit. Mælir 4 er neikvæður öðru megin við miðju, en jákvæður hinu megin, sama og fyrir einfalt hjól. Mælir 5 sýnir engar “eðlilegar” niðurstöður. Mælir 6 sýnir mikið útslag, en útlit þess er að mestu “eðlilegt”. Mælir 7 sýnir meira útslag við mælingar við lok keyrslu, getur verið eðlilegt miðað við að vatn er komið í grifjuna (ath aðeins mælt fyrir P4 og P12 í lok). Sama gildir um mæli 9. Merkilegt að mælir 5 skuli ekki sýna sambærilega hegðun.

IS03*IS03 single centre asg*

Svörun mæla þvert og langs er innibyrðis í samræmi. Samband loftþrýst./álag og svörunar streitumæla þvert á stefnu hjólsins er mjög gott. Aukinn loftþrýstingur leiðir til aukinnar streitu. Aukið álag þýðir hins vegar lægri streitu (?). Streita langs er meiri en streita þvers.

IS03 single centre lvd

Ein mæling fyrir mæli 18 er uppsafnað sig sem skilar sér ekki og er lítið, ákveðið að sleppa því. Gott samræmi er milli mæla 18 og 19. Hér kemur enn fram ruglingurinn með mæla B og C. Áhrif álags miðað við loftþrýsting eykst með dýpi.

IS03 single centre spennur

Mælar 21 of 22 gefa ekkert af sér og eru ekki með. Mælir 34 sýnir í einu tilviki neikvæða spennu, e.t.v. rétt að sleppa þeirri niðurstöðu, einkum m.t.t. að það er langt frá því að vera svoleiðis í öðrum tilvikum, ákveðið að sleppa því hér, en niðurstaðan er geymd í skjali merkt “fyrri útgáfa”. Áhrif loftþrýstingsins virðast meiri í efri hlutanum, en þó er eins og áhrifin séu minni en fyrir IS02 (vegna bikbundna lagsins hér?). [Nokkuð var búið að hreinsa til í mælingunum.]

IS03 single centre emu

Mælir 10 sýnir stundum 4 toppa. Spurning hvers vegna það er. Ein mæling fyrir mæli 11 skar sig mjög úr, merkið var upp á milli 40 og 50 þúsund. Ákveðið var að henda henni út. Fyrir mæli 2 var hent út einni mælingu, þar sem aðeins tveir toppar höfðu

komið fram. Annars eru mælingar nokkuð “eðlilegar” og ekki nein neikvæð gildi koma fram. Mælir 2 sýnir minnst útslag, svo mælir 11 og að lokum mælir 10, en hann mælir í raun streituna í óbundna hluta efra burðarlagsins.

IS03 single distribution asg.

Nokkuð var um mælingar sem taldar eru vafasamar og er þeim sleppt í þessari úrvinnslu. Einnig eru nokkrar mælingar merktar, s.s. mikill munur á toppgildum og í sumum tilvikum mælast aðeins tveir toppar, en það er umhugsunarvert hvort það skuli haft með. Mælar sem mæla streitu þvert, sýna neikvæð gildi á vissum stöðum (eðlilegt). Nokkðu samræmi í niðurstöðum milli mæla. Svörun eykst með auknum loftþrýstingi, en þó er ekki mikill munur á 800 og 900 kPa, a.m.k ekki fyrir mæla sem mæla streitu þvert á stefnu hjólsins (ath. kann að vera tilviljun).

IS03 single distribution lvd

Ákveðið að sleppa öllum mælingum sem við fyrri yfirferðir hafa verið merktar sem “vafasamar”. Mælir B sýnir minni gildi en mælir C (sama hringavitleysan og áður hefur komið fram).

IS03 single distribution spennur

Mælingar sem merktar voru “vafasamar” í fyrri athugunum eru þurrkaðar út. Nokkuð víða er getið um “rétt toppgildi, en truflun í merki”, en þessar mælingar voru ekki þurrkaðar út. Vottar fyrir hliðrun (með hliðrun er átt við að “grunngilið” færast upp eða niður) í mæli 17 og einnig í mæli 56. Áhrif loftþrýstings aukast með minna dýpi. Mælarnir sem liggja efst, þ.e. á mörkum bikbundna og óbundna lagsins mæla minni spennu en sá eini sem er í miðju óbundna laginu (utan einn, þ.e. nr. 34).

IS03 single distribution emu

Mælir 2 sýnir eitthvað af neikvæðum gildum. Oftast er um að ræða að neikvæð gildi séu jafn há þeim jákvæðu. Mælir 11 sýnir undarlegt stökk upp á við fyrir álagstilvik S4.

IS03 par centre og -15 asg

Lítið samband virðist vera milli fjölda álagsendurtekninga og streitu þvert á stefnu hjólsins. Mælir 68 hefur dottið út eftir fyrstu svörunarmælingarnar. Mælir 70 dettur út eftir 330.000 endurtekningar. Annars virðist sem streitur aukist með fjölda endurtekninga. Þetta á við þegar hjólin eru í stöðu 0, þegar þau eru í -15, þá virðist sem aukning sé á streitum í báðar áttir, en þó mælist hún minni í síðustu mælingunum. Getur hugsanlega stafað af því að bikbundna lagið sé að stífna meira? Breyting í hitastigi hefur ekki mikil áhrif á streiturnar, þó í þá átt að þær aukast og þó tæpast. Hraðinn hefur í fljótu bragði ekki áhrif á streitur langs, en hægari hraði þýðir aðeins meiri streitur þvert á akstursstefnuna.

IS03 par centre og -15 lvd

Greinilegt samband milli álags og niðurbeygju. Mælar B og C sýna “vitlaust” eins og áður, en þegar áhrifin staðsetningar hjólanna eru skoðuð, sést að þau hafa áhrif á C, en ekki B. Þetta hlýtur að benda til þess að einhvers konar “krossun” hefur orðið á skráningu þessarra mæla í öllum tilvikum.

IS03 par centre og -15 spennur

Nokkuð er um neikvæð gildi. Í mæliskema frá Svíum, kemur fram að villa er í nokkrum mælingum og eru þær þurrkaðar út. Einhver ruglingur er þó í þessu, þannig

að ekki er samræmi milli númera mælinga og þeirra nema sem skráðir eru með “fel” og þeirra nema sem fram koma í skjalinu mínu. Tendens er til að spennur mælist lægri til að byrja með, en aukist svo sem fall af endurtekningum. Aukning eftir því sem ofar dregur. Mælir 61 er nokkuð sérstakur, álagsendurtekningar virðast ekki hafa áhrif á niðurstöður fyrir hann. Einnig er hann næmari fyrir breytingu í álagi en loftþrýstingi. Mælarnir næst undir bikbundna laginu sýna mun milli stöðu 0 og -15. Í seinna tilvikinu eru þeir yfirleitt háðir loftþrýstingi, en ekki við stöðu 0.

IS03 par centre og -15 emu.

Vandræði með villuleitina. Villa kom fram og því ekki hægt að klára hana. Villur voru því handleitadár! Mælir 2 sýnir að því er virðist “eðlilega” hegðun, í einstaka tilvikum eru niðurstöður þó lágar og neikvæð í einu tilviki. Mælir 11 er í miðju neðra burðarlagi og sýnir heldur meira útslag en mælir 2. Dreifingin er þó nokkur og einstaka mælingar eru neikvæðar. Mælir 10 sýnir mest útslag, en dreifingin er líka nokkur og mjög lág gildi koma fyrir.

IS03 par distribution asg

Niðurstöður, sem við fyrri skoðun voru taldar vafasamar, eru þurrkaðar út. Mælingar við lítinn hraða virðast hafa mistekist. Vottar fyrir því að streita aukist með álagsendurtekningu, en þó er síðasta mælingin yfirleitt lægri en þær á undan. Loftþrýstingur hefur áhrif til aukningar streitu í stefnu hjólsins í öllum staðsetningum, en mismunandi áhrif á sreitu þvert á stefnu hjólsins, minnst (næstum neikvæð) við miðju, þar sem áhrifa gætir frá báðum hjólum, en síðan aukið til þegar kemur undir hjólin sjálf.

IS03 par distribution lvd.

Vafasamar mælingar þurrkaðar út (voru bara 5). Í mælingum eftir HVS virðist mælir 19 lyftast upp í vissum tillvikum (gildin eru jákvæð). Þetta gerist í allra síðustu mælingunni. Auðvitað er mögulegt að mælirinn lyftist upp í miðju, þegar hjólin eru sitt hvoru megin við hann, en tæpast líka undir hjólinu, eins og virðist vera þegar þau hliðrast í aðra áttina. Þessum mælingum hefur ekki verið hent út, en rétt að hafa þetta í huga við úrvinnslu. Allir mælar sýna merki um aukna niðurbeygju með auknum fjölda álagsendurtekninga, mælir B þó minnst.

IS03 par distribution spennur

Fyrir álagstilvik P12 og P20, eru tvær mæliseríur fyrir mæla með hærra númer en 22. Önnur þeirra er vitlaus og er þess vegna þurrkuð út. Í mæliskema Svíanna, eru númer mælinganna tengd öðrum nemum, en merktar með “fel”. Mælir 36 dettur út eftir 200.000 endurtekningar. Spennur aukast með fjölda álagsendurtekninga, en þó eru mælarnir sem liggja á mörkum bikbundna og óbundna burðarlagsins, að sýna “skrítna” hegðun, m.a. lægri spennur en mælar sem liggja neðar.

IS03 par distribution emu:

Villuleit, sýndi aðallega villur í álagstilviki P20. Í nokkrum tilvikum voru fundin toppgildi mjög lág, miðað við aðrar mælingar. Ekki var hægt að endurkalla þau fram með “menu”-forritinu og ákveðið að þurrka þau út úr gögnunum. Eftir yfirferð eru allar mælingar nokkuð “eðlilegar” og svörun í samræmi við staðsetningu í undirbyggingunni.

Ath almennt um EMU-coils

EMU2 er notaður bæði í IS01 og IS03. Eitthvað virðist hann hafa orðið fyrir hnjaski, þegar IS01 var rifinn og IS03 var byggður. Alla vega breytist fjarlægð milli spólanna, reiknað út frá statískri spennu úr um 82 mm í um 120 mm (um 4 cm breyting og það finnst Svíum vera óeðlilegt samkvæmt svörum við fyrirspurn um það). Það er einnig athugunarvert, að spólurnar virðast færast í sundur með auknum fjölda álagsendurtekninga, sem bendir til að efnið hafi þanist út, en það er í ósamræmi við aðrar niðurstöður. Rétt er að minna á að Niclas Odermatt telur að varanlegu færslurnar séu “óáreiðanlegar”, meðan “resilent” færslurnar séu réttari.

EMU11 kemur “öfugt út”, þ.e. sptreitur verða neikvæðar þegar ofangreindum aðferðum er beitt beint. Ákveðið að taka mínusmerkið af og nota sem slíkt hér og nú, en þarf frekari endurskoðunar við. [Svíar segja, aðspurðir, að formerkið sé háð því hvernig kvörðun mælisins sé gerð. Það má því ganga út frá því að það að skipta á formerki, eins og hér var gert, sé í lagi og skoða megi þær niðurstöður sem þannig fást.]

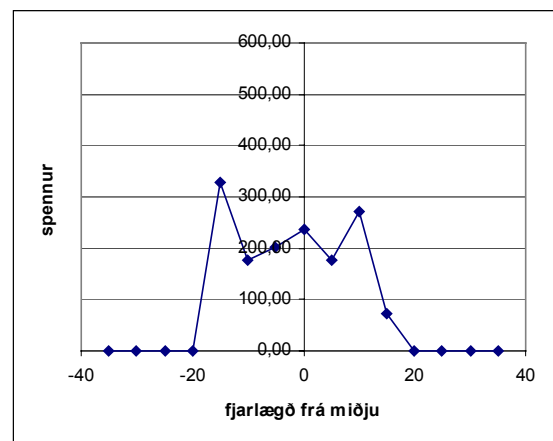
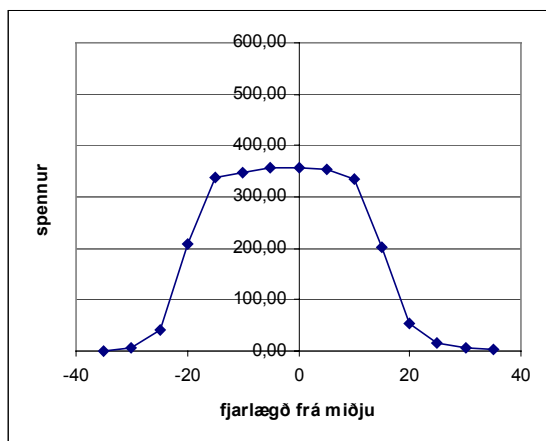
VIÐAUKI IV

*Vangaveltur um spennumælingar efst í
veghlotunum*

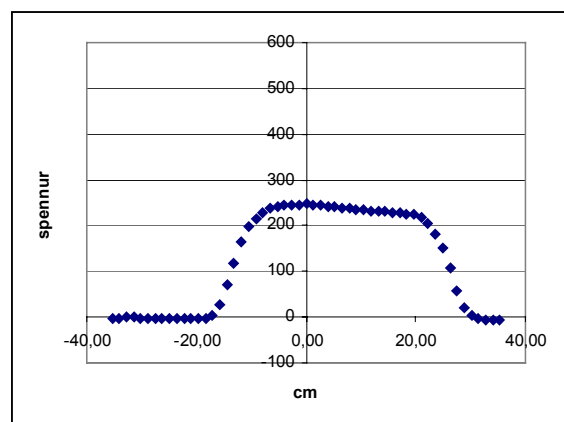
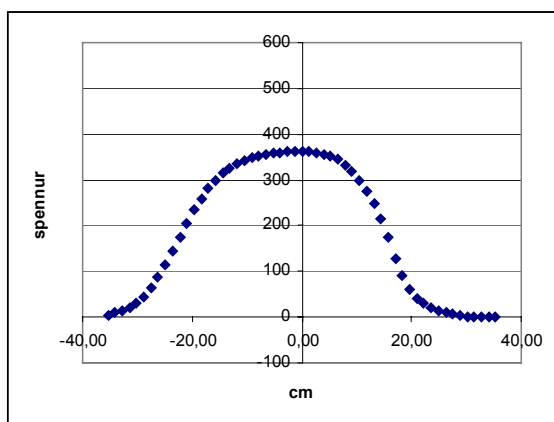
Vangaveltur um spennumælingar efst í veghlotunum

Fram kemur að spennur mælast minni efst í veghlotinu en þegar neðar dregur. Það er tilefni þessarra vangaveltna. Línuritinn hér fyrir neðan, sýna annars vegar hvernig svörun mæla SPC66 (í um 10 cm dýpi) og SPC65 (í um 5 cm dýpi), er þegar hólíð færast þvert á akstursstefnu og hins vegar þegar það kemur langs eftir miðlínu tilraunakaflans, þ.e.a.s. neðri myndirnar sýna svörun á fleti sem gengur hornrétt á y-ásinn á efri myndunum. Álagið er 60 kN og loftþrýstingur er 500 kPa. Um er að ræða kafla IS02. Lögum kúrfanna fyrir hvorn mæli um sig er svipuð, þó mikil óregla komi fram hjá mæli SPC66, þegar hjólið færast þvert á akstursstefnuna. Óregluna má þó e.t.v. skýra með því að spennur eru meiri undan jaðri hjólsins (þ.e. spennudreifing álagsins er ekki jöfn yfir flötinn). Svipuð mynd kemur fram fyrir aðra mæla í sömu dýptum í IS02. Munurinn á lögum svörunakúrfunnar, þegar hjólið fer langs eftir kaflanum er að mestu fölginn í að kúrfan ris brattar fyrir mælana sem liggja ofar og “hámarks”-spennan helst lengur. Hugsanlega er skýringin á þessu sú að einhvers konar “plötuástand” ofan við nemann, þannig að aðeins hluti af álaginu færast yfir á hann, sjá skýringar Sigurðar Erlingssonar hér á eftir.

Svörun mælanna virðist því eðlileg, og þetta skýrir ekki hvers vegna mælarnir sem eru grynna í veghlotinu sýna minna útslag.



Mælir nr. SPC65 til vinstri og SPC66 til hægri. Hjól færast þvert á akstursstefnu.



Mælir SPC65 til vinstri og SPC66 til hægri, hjól fer eftir miðlínu.

Ef gert er ráð fyrir samhverfu um miðpunkt álagsins og álagsdreifingarferlinum er snúið um ás sem liggur gegnum þennan miðpunkt ætti, fræðilega séð, rúmmálið undir þeirri “klukku” sem þannig myndast, að vera sama og lóðrétt álag frá HVS-tækinu. Slíkir reiknikngar á rúmmáli ættu að gefa u.þ.b. 60 kN, en það er álagið sem notað var þegar þessar mælingar voru gerðar. Reikningar fyrir ofangreindar myndir gefa þó heldur lægri niðurstöðu, sem þá benda til að spennumælingarnar séu ekki réttar og e.t.v. of lágar í öllum tilvikum.

Önnur skýring á því að mælur efst í veghlotinu mæla of lága spennu, kemur frá Sigurði Erlingssyni. Hann vísar til hlutar sem þekktur er í bergtækni og er nefnt “arching”. Í bergtækni er þekkt að þegar myndað er holrými neðanjarðar þá myndast rými sem inniheldur ekkert efni, og ber því engar spennur. Gjarnan eru teiknaðar spennulínur (höfuðspennur) fyrir og eftir myndun slíks holrýmis, ekki ósvipaðar línur og straumlínur fyrir streymi vatns í gegnum jarðveg. Sjá má þá, eftir að holrýmið hefur verið myndað, hvernig spennulínurnar streyma framhjá því, því þar er ekkert efni sem getur veitt mótspyrnu. Nú er sett styrking inn í þetta holrými til að það hrynji ekki saman. Styrkingin er gjarnan stíf þannig að að það myndast kápa umhverfis opið sem er stífari en bergið umhverfis. Sjá má þá hvernig spennulínurnar (straumlínurnar) streyma nú inn að þessu stífa lagi og lækka spennurnar í berginu umhverfis holrýmið. Eitthvað svipað kann að gerast umhverfis spennudósina ef hún er mýkri en jarðvegurinn umhverfis, þjappast hún saman án þess að taka upp allan þann kraft sem hún ætti að gera, því samþjöppun í jarðveginum umhverfis dósina ber stærri hluta af kraftinum. Því mælir dósinn lægri spennur en ætlast er til að hún geri. Ef dósinn er hins vegar stífari en umverfið veldur sama samþjöppun í dósinni og jarðveginum umhverfis því, að meiri spennur safnast fyrir í dósinni en í jarðveginum, þ.e. mæling dósarinnar gefur of hátt gildi.

Samkvæmt því sem hér er sagt getur verið að þegar hjólalagið kemur á veghlotið veldur það tímabundið mjög háum spennum efst í því vegna þess að stífni jarðvegarins er spennuháð og verður stífnin því hærri en stífni dósarinnar þannig að spennur “streyma framhjá” dósinni og lægra gildi mælist en ella. Ólínuleg kvörðun á dósinni, þannig að hún fylgdi stífleika jarðefnisins sem umhverfis hana er, ætti að gera að verkum að hún mældi “rétt spennugildi”.