



MANNVIT



FROSTSTUÐLAR Á ÍSLANDI

RANNSÓKARVERKEFNI STYRKT AF
RANNSÓKNARSJÓÐI VEGAGERÐARINNAR

MAÍ 2019

Efnisyfirlit

1. Inngangur.....	1
1.1 Froststuðlar	2
1.1.1 Frostdýptarstuðull K_f	2
1.2 Val á gögnum til úrvinnslu.....	3
1.2.1 Frostdýpmælingar Vegagerðarinnar	5
2. Froststuðlar á Íslandi	5
2.1 Niðurstöður	6
3. Samanburður á froststuðlum og mælingum á frostdýpi.....	8
4. Samanburður eldri froststuðla	9
5. Lokaorð	10
6. Heimildaskrá	11

1. Inngangur

Frostverkun hefur áhrif á laus jarðlög. Þekkt er að frostverkun geti skapað jarðtæknileg vandamál eins og hreyfingar sem skaða byggingahluta, lagnir og vegi. Til þess að koma í veg fyrir þessi vandamál eru byggingar grundaðar á frostfríu dýpi eða efnisskipt með frostfríu efni í kringum undirstöður og lagnir. Efstu lög vega eru lögð út með frostfríu efni. Samt sem áður liggja ekki fyrir miklar upplýsingar um hvað frostdýpi, dýpi í jörð sem frost nær niður, er mikið á hverjum stað á Íslandi. Ef stiklað er á stóru má finna eftirfarandi upplýsingar og kröfur sem varða frostdýpi:

- Í leiðbeiningum Vegagerðarinnar um efnisrannsóknir og efniskröfur kemur fram að hafa þurfi í huga að lag sem er ofan við frostdýpi sé ónæmt fyrir áhrifum frostþenslu en í reynd sé þetta ekki uppfyllt utan þéttbýlis. Í ritinu kemur fram að í reynd er oftast látið nægja að burðarlag og styrktarlag vega sé frostfritt utan þéttbýlis [1].
- Grundun og fylling að undirstöðum brúa eða öðrum burðarvirkjum skal samkvæmt reglum Vegagerðarinnar vera unnin með ófrostnæmum eignum og að hönnun skuli miða við froststuðul sem svarar til 100 ára endurkomutíma. Frost samtala þessi byggir á frostsstuðli sem nánar er sagt frá hér neðar [2].
- Í byggingareglugerð, gr. 8.1.4 segir að „liggi ekki fyrir staðfesting á því að jarðvegur sé frostpólinn skulu undirstöður mannvirkis ná niður á frostfritt dýpi, þ.e. 1,2 til 2,0 m niður fyrir endanlegt jarðvegsyfirborð við útveggi“. Algengt er að 1,2 m frostdýpi sé það gildi sem stuðst við í þéttbýli og 2,0 m utan þéttbýlis [3].

Þetta gefur til kynna að frostdýpi getur verið bæði ofmetið og vanmetið hér á landi. Betra mat á frostdýpi skilar betri hönnun. Betri hönnun felst í lengri líftíma mannvirkis og ef til vill lægri kostnaði annaðhvort við framkvæmd eða yfir lífsferil mannvirkis. Ef frostdýpi er vanmetið og miklar frosthreyfingar verða getur það stýtt líftíma mannvirkis og aukið viðhaldskostnað. Á hinn bóginn getur ofmetið frostdýpi orðið til aukins kostnaðar í efniskaupum.

Ef til vill þarf að meta frostdýpi betur og á afmarkaðra svæði. Til þess að meta frostdýpi á hverjum stað er hægt að setja niður mæla sem mæla frostdýpi en það er mjög kostnaðarsamt að mæla á svo mörgum stöðum ef tillit er tekið til kostnaðar við uppsetningu og rekstur mælana. Einnig þurfa mælingar að ná yfir nokkurra ára tímabil til þess að fá sem nákvæmasta niðurstöðu. Önnur leið til að meta frostdýpi er að áætla svokallaðan froststuðull sem er reiknaður út frá lofthitamælingum. Frostdýpi er svo hægt að meta út frá jarðefnisgerð og froststuðli. Á Íslandi eru reknar fjölmargar veðurstöðvar af ýmsum aðlinum svo sem Veðurstofu Íslands, Vegagerðinni og Landsvirkjun. Þessar veðurstöðvar hafa verið að safna veður upplýsingum þar á meðal lofthitamælingum til mismargra ára. Þessar upplýsingar má því nota til að kortleggja frostdýpi á Íslandi.

Reiknað var frostdýpi fyrir 20 staði á landinu, bæði í þéttbýli og dreifbýli. Útreikningar voru bornir saman við frostdýpimælingar frá mælum Vegagerðarinnar og má sjá að samræmi er á milli mælinga og froststuðuls.

Verkefnið var unnið af Árnýju Jónu Þorlákssdóttur hjá Mannviti. Höfundur skýrslunnar ber ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

1.1 Froststuðlar

Eins og kemur fram hér að ofan er hægt að meta frostdýpi með froststuðlum.

Froststuðull (F [°C klst]) er skilgreindur sem margfeldi gráða á celsius fyrir neðan frostmark og tímaleingi í klukkustundum. Stuðullinn er reiknaður út frá mældum lofthita á vetrarmánuðum, tímabilinu október til og með maí.

$$F = \sum \theta * \Delta t$$

Þar sem:

θ = gráður fyrir neðan frostmark

Δt = fjöldi klst.

Til að meta hámarksfroststuðul með mismunandi endurkomutíma var ákvörðuð Gumbeldreifing sem nálgar hámarksfroststuðul hvers árs. Því lengra sem mælda tímabilið er því nákvæmara verður matið.

Notuð var jafnan:

$$F_{(\text{ár})} = F_{\text{meðal}} - \sigma_n K_{(\text{ár})}$$

Þar sem:

$$K_{(\text{ár})} = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left(\gamma + \ln \left(\ln \left(\frac{T(x)}{T(x) - 1} \right) \right) \right)$$

σ_n = staðalfrávik

$\gamma = 0,5772$

$T(x)$ = árafjöldi

Frostdýpt er síðan ákvörðuð með formúlunni:

$$z_F = K_F * \sqrt{F}$$

Þar sem:

z_F = frostdýpt í cm

K_F = frostdýptarstuðull

F = Froststuðull í °C klst

1.1.1 Frostdýptarstuðull K_f

Frostleiðni er mismikil eftir efniseiginleikum. Mesta frostleiðni er í grófkorna efni sem hefur mikið holrými og á því kalt loft greiðari leið dýpra í efnið. Finna og þéttara efni hefur ekki eins mikla frostleiðni sem geymir raka vel og hefur því talsvert einangrunargildi. Því hafa upplýsingar um gerð jarðvegs talsvert að segja þegar frostdýpi er áætlað.

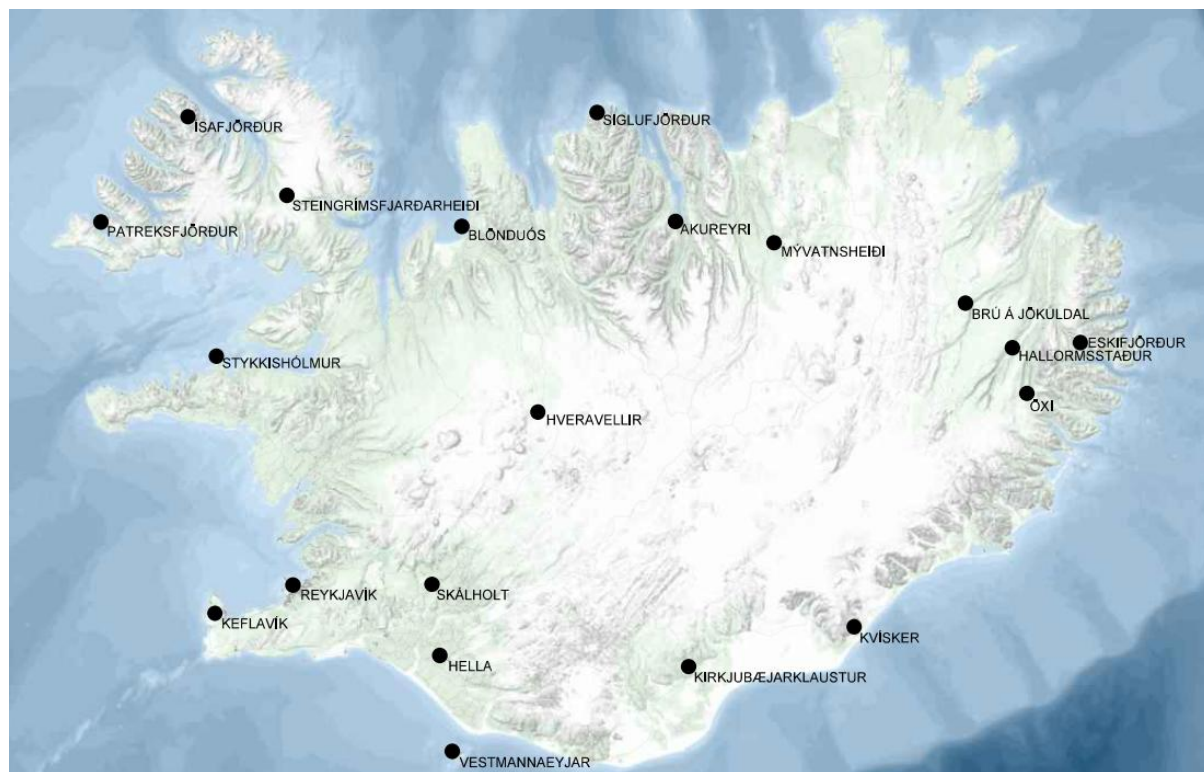
Norska Vegagerðin hefur gefið út töflu með frostdýptarstuðlum efnisgerða í handbók sinni númer V220, Geoteknikk i vegbygging töflu 13.7 [4]. Íslenska þýðingu má finna í töflu 1. Höfundur leggur upp með að nota þessa stuðla fyrir gerð jarðvegs til að áætla frostdýpt.

Tafla 1. Frostdýptarstuðlar norsku Vegagerðarinnar [4]

Efni	Frostdýptarstuðull – K_F
Grjótfilling (sprengt grjót, möl með grjóti)	1,4
Sandur og möl (sendin möl)	1,0
Sylti (sendið sylti)	0,85
Leir og leirrik mórena	0,7
Mór	0,3

1.2 Val á gögnum til úrvinnslu

Lofthitamælingar ásamt upplýsingum um staðsetningu og hæð veðurstöðva voru fengnar hjá Veðurstofu Íslands.



Mynd 1. Valdir staðir til útreikninga á froststuðli.

Til þess að niðurstöður séu marktækar þurfa hitastigs mælingar að vera tíðar yfir sólarhringinn og ná yfir nokkur ár, því lengur sem samfelldar mælingar hafa verið gerðar því nákvæmari verða niðurstöðurnar. Ef hitastigsmælingar ná ekki yfir mörg ár getur verið varhugavert að setja fram stuðla með löngum endurkomutíma.

Reynt var að velja veðurstöðvar víðsvegar um landið með tilliti til þess hve lengi hitafarsmælingar hafa staðið yfir. Mælingar síðustu ára koma allar úr sjálfvirkum veðurstöðvum og eru klukkustundargildi. Einnig voru notaðar mælingar frá mönnum veðurstöðvum þar sem það var hægt. Þá voru notaðar mælingar frá árinu 1988 og þangað til að sjálfvirkar mælingar hófust. Á mönnum stöðvunum var hitastig oftast mælt á 3 tíma fresti yfir sólahringinn en á einstaka stöðvum var ekki mælt yfir nóttina, frá miðnætti til klukkan 9. Það gefur því augaleið að eldri mælingar gefa ekki eins góða mynd af hitafarsbreytingum en það vegur á móti að mælingar ná yfir lengra tímabil.

Tafla 2. Valdar veðurstöðvar og helstu upplýsingar.

Nafn stöðvar	Tegund veður-athugunarstöðvar (stöðvarnúmer)	Staðsetning [baughnit]	Hæð yfir sjó [m y.s.]	Ár lofthitamælinga notuð	Eigandi stöðvar
Reykjavík	Sjálfvirk (1)	64,1275, 21,902	52,0	1996-2018	Veðurstofa Íslands
	Mönnum (1475)	63.79305; 18,01195	22,0	1988-1996	Veðurstofa Íslands
Keflavíkurflugvöllur	Sjálfvirk (1350)	63,9829; 22,600517	50,9	2011-2018	Veðurstofa Íslands
	Mönnum (990)	63,97468; 22,58758	47,0	1988-2011	Veðurstofa Íslands
Stykkishólmur	Sjálfvirk (2050)	65,0717, 22,7324	12,4	2002-2018	Veðurstofa Íslands
	Mönnum (178)	65,07403; 22,73388	13,2	1988-2002	Veðurstofa Íslands
Patreksfjörður	Sjálfvirk (2319)	65,5951, 23,9748	43,0	1996-2018	Veðurstofa Íslands
Ísafjörður	Sjálfvirk (2642)	66,0596, 23,1699	2,2	1998-2018	Veðurstofa Íslands
Steingrímsfjarðarheiði	Sjálfvirk (32474)	65,7503, 22,1291	440,0	1995-2018	Vegagerðin
	Sjálfvirk (33419)	65,6668, 20,2383	40,0	1998-2018	Vegagerðin
Blönduós	Mönnum (341)	65,65808; 20,3026	23,0	1988-1998	Veðurstofa Íslands
Siglufjarðarvegur	Sjálfvirk (33394)	66,129, 19,0721	20,0	1995-2018	Vegagerðin
	Sjálfvirk (3471)	65,6961, 18,1113	31,0	2005-2018	Veðurstofa Íslands
Akureyri	Mönnum (422)	65,68558; 18,10023	23,0	1988-2005	Veðurstofa Íslands
	Sjálfvirk (33394)	65,6143, 17,2169	350,0	1999-2018	Vegagerðin
Hallormsstaður	Sjálfvirk (4060)	65,0942, 14,7447	60,0	1996-2018	Veðurstofa Íslands
	Mönnum (580)	65,100; 14,717	60,0	1988-1996	Veðurstofa Íslands
Brú á Jökuldal	Sjálfvirk (5940)	65,1086, 15,5297	373,0	1998-2018	Veðurstofa Íslands

	Mönnuð (542)	65,10852; 15,52933	360,0	1988-1998	Veðurstofa Íslands
<i>Eskifjörður</i>	Sjálfvirk (5981)	65,0763, 14,037	2,0	1998-2018	Veðurstofa Íslands
<i>Öxi</i>	Sjálfvirk (35963)	64,8257, 14,6573	531,0	2006-2018	Vegagerðin
<i>Kirkjubæjarklaustur</i>	Sjálfvirk (6272)	63,793, 18,0119	22,0	2004-2018	Veðurstofa Íslands
	Mönnuð (772)	63,78947; 18,05427	29,5	1988-2004	Veðurstofa Íslands
<i>Kvísker</i>	Sjálfvirk (35315)	63,9596, 16,4244	30,0	2002-2018	Vegagerðin
<i>Hella</i>	Sjálfvirk (6315)	63,8257, 20,3654	20,0	2006-2018	Veðurstofa Íslands
	Mönnuð (855)	63,8361; 20,39307	20,0	1988-2004	Veðurstofa Íslands
<i>Skálholt</i>	Sjálfvirk (36411)	64,1323, 20,5308	60,0	1998-2018	Vegagerðin
	Sjálfvirk (6935)	64,8668, 19,5622	641,0	1996-2018	Veðurstofa Íslands
<i>Hveravellir</i>	Mönnuð (892)	64,86668; 19,56205	641,0	1988-1966	Veðurstofa Íslands
<i>Vestmannaeyjar</i>	Sjálfvirk (6015)	63,4359, 20,2758	40,4	2004-2018	Veðurstofa Íslands

1.2.1 Frostdýpmælingar Vegagerðarinnar

Vegagerðin rekur og safnar mælingum frá frostdýpmælum víða um land alls á 38 stöðum. Fengnar voru frostdýpmælingar úr fjórum mælum til samanburðar á þeim áætluðu gildum frostdýpis sem fást með því að nota froststuðla. Boruð er hola í veginn og mælirinn settur niður í holuna ásamt síuðum jökulleir úr Langjökli.

Þar sem mælarnir eru staðsettir í vegum mæla þeir hitastig í vegfyllingu á mismunandi dýpi í gegnum mismunandi lög vegfyllingar. Mælt er á 5 – 10 cm fresti í gegnum efra burðarlag, neðra burðarlag og stoðfyllingu frá 10 cm dýpi niður á 110 cm dýpi. Það er því ekki marktækt að meta hvort samræmi sé á milli froststuðla og mælinga sem ná dýpra en 110 cm í jörð.

Mælarnir eru flestir staðsettir í Hringvegi 1. Ekki liggja fyrir nákvæmar upplýsingar um uppbyggingu vega sem þeir eru í en ef hönnunartafla Vegagerðarinnar fyrir vegi með bundnu slitlagi er skoðuð og við gefum okkur að umferðarflokkur sé D eða E getum við gert okkur grein fyrir líklegri þykkt burðar og styrktarlaga. Þykkt burðarlaga er á bilinu 12 til 19 cm og styrktarlag á bilinu 30 til 80 cm [5].

2. Froststuðlar á Íslandi

Í kafla 2.1 má finna niðurstöður útreikninga á froststuðli. Gefið er upp meðaltal, miðgildi og staðalfrávik fyrir hvern stað í töflu 3. Tafla 4 hefur að geyma froststuðla með mismunandi endurkomutíma. Val á viðeigandi endurkomutíma á að endurspegla líftíma mannvirkis sem verið að hanna.

2.1 Niðurstöður

Eins og má sjá í töflunum að neðan er töluverður fjölbreytileiki á froststuðlum á Íslandi. Ekki kemur á óvart að gildi á hálendi og heiðum eru töluvert hærri en gildi í þéttbýli. Gildi fyrir þéttbýlisstaði og eru þó töluvert dreifð og bendir til þess að ekki sé nægilegt að gefa upp eitt gildi sem gildir fyrir alla þéttbýlisstaði.

Tafla 3. Meðaltal, miðgildi og staðalfrávik froststuðla á hverjum stað.

	<i>Frosstuðull [°C klst]</i>		
	Meðaltal	Miðgildi	Staðalfrávik
<i>Reykjavík</i>	4566	4408	1676
<i>Keflavíkurlflugvöllur</i>	3618	3510	1356
<i>Stykkishólmur</i>	8694	8495	3706
<i>Patreksfjörður</i>	10266	10738	3623
<i>Ísafjörður</i>	5655	5955	1795
<i>Steingrímsfjarðarheiði</i>	17807	18373	3945
<i>Blönduós</i>	8508	8393	2893
<i>Siglufjarðarvegur</i>	5763	5674	2092
<i>Akureyri</i>	8677	8428	2535
<i>Mývatnsheiði</i>	15733	16535	3562
<i>Hallormsstaður</i>	7564	7521	2835
<i>Brú á Jökuldal</i>	16864	17338	4214
<i>Eskifjörður</i>	4252	4221	1633
<i>Öxi</i>	14204	15130	4861
<i>Kirkjubæjarklaustur</i>	4730	4792	1504
<i>Kvísker</i>	2936	2941	1106
<i>Hella</i>	7917	7674	2412
<i>Skálholt</i>	8258	8394	2709
<i>Hveravellir</i>	22893	22330	4903
<i>Vestmannaeyjar</i>	7608	8789	3285

Tafla 4. Froststuðlar með mismunandi endurkomutíma.

Endurkomutímar, ár	Frostuðull [°C klst]						
	F2	F4	F5	F10	F20	F50	F100
Reykjavík	5045	6194	6525	7506	8447	9664	10576
Keflavíkurflugvöllur	4005	4935	5203	5996	6757	7742	8480
Stykkishólmur	9753	12294	13028	15197	17277	19969	21987
Patreksfjörður	11301	13785	14503	16623	18656	21288	23261
Ísafjörður	6167	7398	7754	8804	9811	11115	12093
Steingrímsfjarðarheiði	18934	21639	22420	24729	26943	29809	31956
Blönduós	9335	11318	11891	13584	15208	17310	18885
Siglufljörðarvegur	6361	7795	8209	9433	10608	12127	13266
Akureyri	9401	11139	11641	13125	14547	16389	17769
Mývatnsheiði	16750	19192	19898	21982	23981	26568	28507
Hallormsstaður	8373	10317	10878	12537	14128	16187	17730
Brú á Jökuldal	18068	20957	21792	24257	26622	29683	31977
Eskifjörður	4718	5837	6160	7116	8032	9218	10107
Öxi	15592	18925	19888	22732	25461	28992	31638
Kirkjubæjarklaustur	5159	6190	6488	7368	8212	9305	10124
Kvísker	3252	4010	4229	4876	5497	6300	6903
Hella	8606	10259	10737	12148	13502	15254	16567
Skálholt	9032	10889	11426	13011	14531	16500	17974
Hveravellir	24293	27655	28626	31494	34246	37808	40476
Vestmannaeyjar	8546	10798	11449	13371	15214	17601	19389

Í töflu 5 er búið að reikna frostdýpi staðanna í mismunandi efnis gerðum með 50 ára endurkomutíma. Ef skoðaðir eru þéttbylissaðir í kringum landið þá er frostdýpi í mól og sandi ($K_f=1,0$) á bilinu 88 í Keflavík til 146 cm á Patreksfirði.

Tafla 5. Samantekt á áætluðu frostdýpi með 50 ára endurkomutíma.

	Frostdýpi [cm]		
	$K_f=0,7$	$K_f=1,0$	$K_f=1,4$
Reykjavík	69	98	138
Keflavíkurflugvöllur	62	88	123
Stykkishólmur	99	141	198
Patreksfjörður	102	146	204
Ísafjörður	74	105	148

	Frostdýpi [cm]		
	Kf=0,7	Kf=1,0	Kf=1,4
<i>Steingrímsfjarðarheiði</i>	121	173	242
<i>Blönduós</i>	92	132	184
<i>Siglufjarðarvegur</i>	77	110	154
<i>Akureyri</i>	90	128	179
<i>Mývatnsheiði</i>	114	163	228
<i>Hallormsstaður</i>	89	127	178
<i>Brú á Jökuldal</i>	121	172	241
<i>Eskifjörður</i>	67	96	134
<i>Öxi</i>	119	170	238
<i>Kirkjubæjarklaustur</i>	68	96	135
<i>Kvísker</i>	56	79	111
<i>Hella</i>	86	124	173
<i>Skálholt</i>	90	128	180
<i>Hveravellir</i>	136	194	272
<i>Vestmannaeyjar</i>	93	133	186

3. Samanburður á froststuðlum og mælingum á frostdýpi

Mælingum og reiknuðu dýpi bar misvel saman en þó mátti sjá að þarna er fylgni á milli. Eins og fram hefur komið liggja frostdýpimælar Vegagerðarinnar í vegfyllingum og mæla í gegnum mismunandi lög vegfyllinga þ.e. burðarlög og stoðfyllingu. Hafa þarf þetta í huga þegar borin eru saman gildi frostdýpis með áætluð eru með froststuðlum eru borin saman við mæld gildi. Við þennan samanburð þótti við hæfi að velja froststuðul $K_f=1,0$ sem er list sem sandi og mól. Sínd eru annarsvega áætluð gildi út frá meðaltali froststuðuls og hins vegar með 50 ára endurkomutíma. Þetta er gert vegna þess að frostdýpi mælingar ná ekki yfir mörg ár og er því erfitt að bera þau gildi saman við gildi sem líklega kemur aðeins fyrir á fimmtíu ára fresti.

Tekið var saman mesta og minnsta mælda frostdýpi fyrir hvert ár mælinga, gildin er að finna í töflu 6 Einnig kemur fram í töflunni meðaltal mesta frostdýpis sem hefur mælst árlega. Búið er að mæla frostdýpi mislengi á hverjum stað eitthvað er um að mælar hafi ekki verið virkir yfir einhver tímabil vegna bilana. Því voru einungi heil mæliár notuð við samantekt.

Tekið skal fram að aðeins var hægt að nota mælingar frá 4 árum á Kvískeri.

Tafla 6. Ársmeðaltöl og niðurstöður útreikninga á froststuðli.

	<i>Mesta mælda dýpi [cm]</i>	<i>Minnsta mælda dýpi [cm]</i>	<i>Meðaltal ára[cm]</i>	<i>Frostdýpi [cm] $F_{meðal}$ $Kf = 1$</i>	<i>Frostdýpi [cm] $F50$ $Kf = 1$</i>
<i>Blönduós</i>	110+	90	104	92	132
<i>Kvísker</i>	80	60	73	54	79
<i>Skálholt</i>	100	60	81	91	128
<i>Mývatnsheiði</i>	110+	110+	110+	125	163

4. Samanburður eldri froststuðla

Árið 2000 vann Oddur Sigurðsson samskonar verkefni fyrir Vegagerðina. Reiknaðir voru froststuðlar sem byggðu á hitafarsmælingum frá 1968 til 1998 frá mönnum veðurstöðvum. Mælingar sem hér er stuðst við eru úr sjálfvirkum veðurstöðum ásamt mælingum frá mönnum veðurstöðvum. Mismikill munur er á gildum en þau eiga það sameiginlegt að froststuðlar sem byggja á nýrri mælingum eru allir lægri. Á muninum sjást merki um breytingu á tíðarfari þ.e. hitastig hefur almennt verið hækkandi síðustu ár.

Munurinn á gildum fyrir Reykjavík, Keflavíkurflugvöll og Akureyri er þó það mikill að annara skýringa er þörf. Mælingar sem nýttar eru til nýrri útreikninga eru mun tíðari, notað er lægsta mínútu gildi hverrar klukkustundar. Eldri mælingar eru manngerðar mælingar sem eru gerðar á 3 tíma fresti því ná þær mælingar ekki eins góðri mynd af hitabreytingum. Einnig getur verið munur á næmni mæla og uppsetningu. Þarna getur staðsetningarmunur líka átt þátt [6].

Tafla 7. Froststuðlar frá 1998 og 2018

	<i>Meðaltal 2000</i>	<i>Meðaltal 2018</i>	<i>Miðgildi 2000</i>	<i>Miðgildi 2018</i>
<i>Reykjavík</i>	6379	4566	6376	4408
<i>Keflavíkurflugvöllur</i>	5129	3618	5111	3510
<i>Kirkjubæjarklaustur</i>	5551	4730	5520	4792
<i>Akureyri</i>	11382	8677	10913	8428
<i>Hveravellir</i>	27063	22893	27453	22330

5. Lokaorð

Ef til vill þarf að meta frostdýpi betur og á afmarkaðra svæði en gert er í daglegri hönnun. Að mati höfundar er ekki nægilegt að gefa upp sitthvort gildið fyrir frostdýpi í þéttbýli 120 cm og dreifbýli 200 cm ef mikið liggur undir. Ef horft er á dæmið sem tekið er fyrir í töflu 5, frostdýpi í mól og sandi ($K_f = 1,0$) sem er sá stuðull sem frostfrítt efni mundi líklegast fá og 50 ára endurkomutíma sem endurspeglar líftíma flestra mannvirkja, þá má sjá að áætlað frostdýpi er á bilinu 88 í Keflavík til 146 cm á Patreksfirði. Í báðum tilfellum væri fyrirskrifað í hönnun að skipta út frostnæmu efni 120 cm niður fyrir yfirborð. Í öðru tilfallinu væri það ofáætlað og hægt væri að spara efni og flutninga en í hinu vanáætlað og býður uppá skemmdir á mannvirkinu vegna frosthreyfinga. Ef horft er á samskonar dæmi fyrir dreifbýli (heiðar og hálendi) þá virðist frostdýpi með 50 ára endurkomutíma í frostfríu efni ekki fara yfir 200 cm eins og þumalputtareglan gerir ráð fyrir. Svo hönnuðir virðast vera öruggum megin að nýta sér hana.

Ein leið væri að gefa út töflu fyrir mismunandi staði á landinu að fyrirmynd norsku Vegagerðarinnar. Þau gildi þarf þó að endurskoða reglulega vegna breytilegs veðurfars. Í þessu verkefni er stuðst við frostdýptarstuðla norsku Vegagerðarinnar eins og kemur fram í kafla 1.1.1. Ef til þess kæmi að gefnar yrðu út froststuðlatöflur þá mætti skoða hvernig frostdýptarstuðlar samræmast efniseiginleikum íslenskra jarðefna þar sem þeir eru stór áhrifaþáttur.

Hugsanlega geta mannvirkjahönnuðir þó lagt betra mat á þetta sjálfir heldur en að styðjast við þumalputtareglur. Á þeim stöðum þar sem hitafarsmælingar hafa staðið yfir til lengri tíma koma froststuðla útreikningar sér vel.

6. Heimildaskrá

- [1] Vegagerðin, „Efnisrannsóknir og efniskröfur kafli 2 inngangur,“ 2019.
- [2] Vegagerðin, „Reglur um hönnun brúa. 2. útgáfa,“ 2018.
- [3] *Byggingareglugerð (112/2012).*
- [4] Statens Vegvesen, Håndbok V220 Geoteknikk i vegbygging., 2010.
- [5] Vegagerðin, *Burðarþolshönnun leiðbeiningar*, 2013.
- [6] Veðurstofa Íslands - Kristín Björg Ólafsdóttir, „VÍ 2017-013 Samanburður á mánaðarmeðalhita mannaðra og sjálfvirkra veðurathugunarstöðva,“ 2017.
- [7] Norges teknisk - naturvitenskaplige forskningsrad og Statens Vegvesen, Frost i jord - sikring mot teleskader, 1976.
- [8] Veðurstofa Íslands - Ásdís Auðunsdóttir, „Froststuðull - Greinargerð 01012,“ 2001.