STAURAUNDIRSTÖÐUR FYRIR BRÝR

DAGS.	HÖFUNDUR
04.11.2026	Andri Gunnarsson, Ólafur D. Friðriksson, Benedikt N. Bjarnason

Inngangur

Verkefnið „Stauraundirstöður fyrir brýr“ hefur verið unnið í þremur áföngum með styrk frá Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar. Markmiðið er að meta hvort mæla megi með ákveðinni aðferð við jarðtæknihönnun viðnámsstaura (fljótandi staura) í sendnum jarðvegi við íslenskar aðstæður. Áfangaskýrsla 2 fjallar um jarðvegsrannsóknir og samanburð reikniaðferða við álagspróf [1], en áfangaskýrsla 3 um greiningu PDA-álagsprófa, bakreikning núningsstuðla og ráðleggingar um val á hönnunaraðferð [2].

Jarðvegsrannsóknir og val á aðferð

Val á reikniaðferð ræðst að miklu leyti af því hvaða jarðvegsrannsóknir liggja fyrir. Lagt er til að rannsóknir fari fram í skrefum:

- Heildarborun á forhönnunarstigi til að fá yfirlit yfir jarðlög
- Sýnataka sem miðuð er við þá reikniaðferð sem beita á
- Þrýstiborun (CPT) þar sem hún er framkvæmanleg
- Reka niður prufustaura og framkvæma PDA-álagspróf í stærri verkefnum

Reynsla af CPT-borun hér á landi sýnir að erfitt getur verið að ná niður á fullt stauradýpi. Á Eskifirði stöðvaðist borunin á 8,4 m dýpi þótt staurar væru 23–58,6 m langir, og við Jökulsá í Fljótsdal náðu borholur 5,9 og 10,0 m dýpi en staurar voru um 29–29,5 m. Við Núpsvötn reyndist jarðvegurinn of malarkenndur fyrir CPT. Íslensk jarðlög eru oft lagskipt en hægt er að fóðra í gegnum þétt lög, það er hins vegar seinlegra og kostnaðarsamara.

Reikniaðferðir – breytilegar niðurstöður

Í áfanga 2 voru skoðaðar aðferðir byggð á höggborun og reynslugildum Jóns Skúlasonar (1993), PV91, SV, β-aðferð samkvæmt API/ISO, CPT-aðferðirnar NGI99 og Fugro-05, SPT-aðferð Briaud o.fl. og rekjafna Janbu. Reiknuð burðargeta var borin saman við PDA-mælingar á Eskifirði og statískt álagspróf við Jökulsá í Fljótsdal (tafla 1).

TAFLA 1 Reiknuð burðargeta (kennigildi) sem hlutfall af mældri burðargetu [1].

REIKNIAÐFERÐ	ESKIFJÖRÐUR (% AF PDA)	JÖKULSÁ Í FLJÓTSDAL (% AF STATÍSKU PRÓFI)
Höggborun (Jón Skúlason 1993)	72%	108%
PV91	64%	76%
NGI99 (CPT)	89%	75%
Fugro-05 (CPT)	82%	81%
Briaud o.fl. (SPT)	71%	–
Rekjafna Janbu	–	42%

Niðurstöður reikniaðferðanna eru mjög breytilegar. CPT-aðferðirnar (NGI99 og Fugro-05) gáfu niðurstöður næst álagsprófunum á báðum stöðum, en þar sem CPT-borholur náðu aðeins yfir hluta stauralengdar var samanburðurinn gerður á flatarmálseiningu og felur í sér talsverða óvissu. Mat á burðarþoli byggt á höggborun vanmat burðargetu á Eskifirði en ofmat það við Jökulsá.

Áfangi 3 – greiningar og aðlögun hönnunaraðferðar

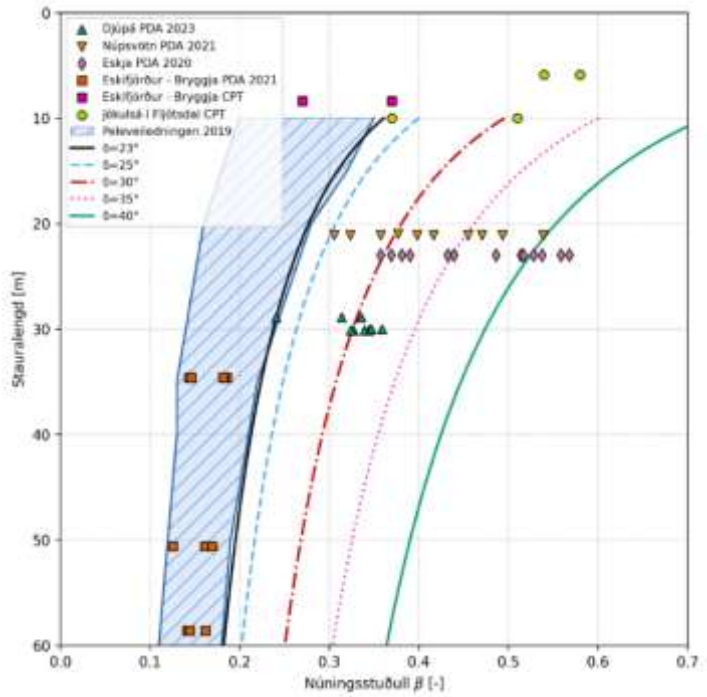
Haustið 2022 voru gerð PDA-álagspróf á níu forsteyptum staurum (27×27 cm, um 29–30 m langir) undir brú yfir Djúpá og niðurstöður greindar með CAPWAP. Meðalburðargeta var 1340 kN í ási 1, 1493 kN í ási 2 og 1503 kN í ási 3, og endaburður 8–12% af heildarburðargetu.

Út frá mælingunum var núningsstuðullinn β bakreiknaður. Fyrir Djúpá fékkst meðalgildið 0,33 (bil 0,29–0,35), en Peleveiledningen 2019 (PV-2019) [3] skilgreinir stuðulinn sem 0,24 fyrir þéttan sand. Reiknuð burðargeta skv. PV-2019 er því aðeins um 72% af mældu burðarþoli. Meðalgildi β fyrir önnur verkefni sem voru skoðuð er 0,36 við Núpsvötn, 0,53 við frystigeymslu Eskju og 0,18 fyrir staurabryggju og prufustaura á Eskifirði.

Til að lýsa áhrifum stauralengdar á β er lagt til að nota:

$$\beta = K \cdot \tan(\delta) \cdot (L_o/L)^n$$

þar sem K = 1,0, L_o = 6,7 m, n = 0,38 og δ = ϕ. Mynd 1 sýnir bakreiknuð gildi á núningsstuðli byggt á úrvinnslu álagsprófa og þau mörk sem PV-2019 skilgreinir fyrir núningsstuðul.



MYND 1 Bakreiknaður núningsstuðull β borinn saman við Peleveiledningen 2019 og tillögu að aðlöguðum β-ferlum (úr áfangaskýrslu 3).

Bakreiknaður endaburðarstuðull N_q var 7–9 við Djúpá, en PV-2019 gefur 12 og ofmetur því endaburð. Við Núpsvötn fékkst N_q = 21–35.

Í töflu 2 er hönnunarburðargeta (Rc,d) 30 m staurs við Djúpá borin saman milli aðferða: aðlöguð β-aðferð (PV91-MOD) gefur 96% af hönnunarburðargetu byggðri á PDA, en óbreytt PV91 aðeins 71%.

TAFLA 2 Hönnunarburðargeta $R_{c,d}$ 30 m staurs við Djúpá eftir aðferðum [2].

AÐFERÐ	$R_{c,d}$ (KN)	HLUTFALL AF PDA
PDA-álagspróf	1041	100%
β-aðferð (PV91-MOD)	996	96%
Rekjafna Janbu	901	87%
SV	892	86%
Höggborun	856	82%
PV91	744	71%

Ráðleggingar við val á hönnunaraðferð

Í töflu 3 settar fram ráðleggingar um hönnunaraðferð eftir jarðvegsgerð og pökkun, með flokkun samkvæmt ISO 19902 [4]. Í lausum sandi og siltríkum jarðvegi er mælt með CPTu-borun (NGI99) eða álagsprófi, en í þéttari sandi með CPTu ef hún er framkvæmanleg. Annars er lagt til að nota β-aðferð með aðlöguðum stuðlum, miðað við álagspróf við Íslenskar aðstæður, sem taflan hér að neðan sýnir.

TAFLA 3 Ráðlagðar hönnunaraðferðir fyrir fljótandi staura (áfangaskýrsla 3 [2]).

HLUTFALLSLEGUR ÞÉTTLEIKI	JARÐVEGSGERÐ	AÐFERÐ	β-STUÐULL	ENDABURÐUR, N_q
Mjög laus/ mjög lítil pökkun	Sandur	CPTu-borun (NGI99) eða álagspróf	Á ekki við	Á ekki við
Lítil pökkun	Sandur			
Lítil pökkun	Sandur-silti			
Miðlungs pökkun	Silti			
Mikil pökkun	Silti			
Miðlungs pökkun	Sandur-silti	CPTu ef hægt en annars β-aðferð	0,3	12
Miðlungs pökkun	Sandur		0,37	20
Mikil pökkun	Sandur-silti			
Mikil pökkun	Sandur		0,46	40
Mjög mikil pökkun	Sandur-silti			
Mjög mikil pökkun	Sandur		0,56	50

Lokaorð og næstu skref

Niðurstöðurnar benda til þess að CPT-aðferðir og aðlöguð β-aðferð gefi besta samsvörun við álagspróf í sendnum jarðvegi hér á landi, en gagnagrunnurinn er enn takmarkaður.

Heimildir

[1] Andri Gunnarsson og Ólafur Davíð Friðriksson (2023). Stauraundirstöður fyrir brýr, áfangaskýrsla 2 (2970-414-SKY-002-V01). EFLA verkfræðistofa fyrir Rannsóknasjóð Vegagerðarinnar.

[2] Benedikt N. Bjarnason og Andri Gunnarsson (2026). Stauraundirstöður fyrir brýr, áfangaskýrsla 3 (2970-414-SKY-003-V01). EFLA verkfræðistofa fyrir Rannsóknasjóð Vegagerðarinnar.

[3] Norsk geoteknisk forening (2019). Peleveiledningen 2019.

[4] ÍST EN ISO 19902. Petroleum and natural gas industries – Fixed steel offshore structures.