RANNSÓKNARRÁÐSTEFNA VEGAGERÐARINNAR 2026

Stauraundirstöður fyrir brýr

Andri Gunnarsson
Brúarverkfræðingur

Meðhöfundar:
Ólafur Davíð Friðriksson
Benedikt N. Bjarnason



Bakgrunnur og markmið verkefnisins

Áfangi 1

- Samantekt á mælingum á burðarþoli staura
- Dýnamísk álagspróf (PDA) við Núpsvötn
- Hefðbundnar reikniaðferðir bornar saman við statísk og PDA-álagspróf

Áfangi 2

- CPT (þrýstiborun) gerð og virkni hennar metin við hönnun á stauraundirstöðum
- Tímaáhrif á burðarþol staura
- Jarðvegsrannsóknir fyrir hönnun á stauraundirstöðum

Áfangi 3

- Dýnamísk álagspróf (PDA) á staurum undir nýja brú yfir Djúpá
- Skoða núningsstuðla m.t.t. niðurstaðna úr álagsprófunum
- Ráðleggingar um hönnunaraðferðir

MARKMIÐ

- Að meta hvort mæla megi með ákveðinni aðferð við jarðtæknihönnun viðnámsstaura, í sendnum jarðvegi (núningsefni), við íslenskar aðstæður.
- Innleiða álagspróf á stauraundirstöðum og stuðla þannig að auknu öryggi hönnunar
- Uppfæra verklýsingar fyrir niðurrekstur
- Skilgreina nauðsynlegar jarðvegskannanir fyrir hönnun á stauraundirstöðum

Jarðvegsrannsóknir fyrir stauraundirstöður

Heildarborun	Góð mynd af lagskiptingu – finnur stíf og veik lög og klöpp. Fyrsta rannsókn á forhönnunar-/frumdragastigi.
Höggborun (Borro)	Gróf mynd af jarðlagaskiptingu en skilgreinir ekki efniseiginleika. Kostur: íslensk reynslugildi byggja á aðferðinni.
Þrýstiborun (CPT)	Bestu inntaksgögn fyrir reikniaðferðir viðnámsstaura. Hentar í sandi, silti og fínkornóttum jarðvegi – stoppar í grófum/stífum lögum.
Sýnataka	Alltaf í framhaldi af heildarborun – Sýnataka og greining á sýnum styður við túlkun á borunum og styður við skilgreiningar á inntaksbreytum fyrir valda reikniaðferð.
Prufurekstur og PDA-álagspróf	Fyrir stærri og kostnaðarsöm verkefni (þekkt í Skandinavíu) – gefur hagkvæmustu og öruggustu hönnunina.

Ráðlagt ferli jarðvegsrannsókna

1. Heildarborun
Fyrsti fasi – ákveður næstu skref

2. Sýnataka
Miðuð við valda reikniaðferð

3. CPT
Ef framkvæmanlegt – fóðra í gegnum gróf lög ef þarf

4. Prufustaurar + PDA
Í stærri verkefnum, á hönnunarstigi

5. PDA við framkvæmd
Á fyrstu staurunum – staðfestir hönnun



Jarðtæknibor: Heildarborun, CPT, sýnataka (Vegagerðin)

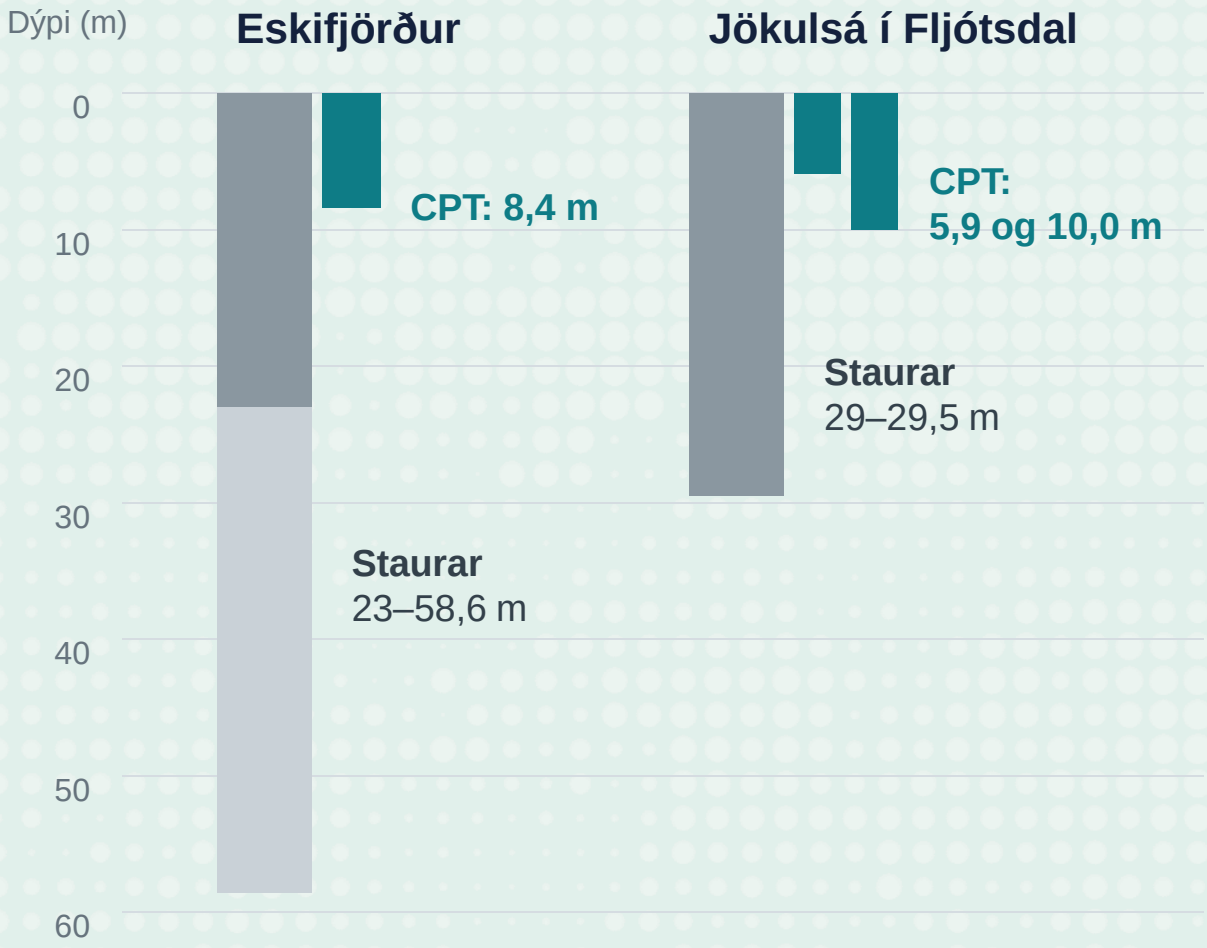


PDA álagspróf



Höggborun/borroborun (Vegagerðin)

Reynslan af CPT í verkefninu



- Íslensk jarðlög oft lagskipt með grófum lögum á milli
- Núpsvötn: jarðvegur of malarkenndur fyrir CPT
- Hægt að fóðra í gegn malarlag – en seinlegra og dýrara
- CPT gefur betri nálgun en hefðbundnar aðferðir

NIÐURSTAÐA

Framkvæma CPT ef heildarborun sýnir að það er framkvæmanlegt

Reikniaðferðir sem hafa verið skoðaðar

Byggt á höggborun

- Mótstaða (tm/m)
- Reynslugildi Jóns Skúlasonar (1993)

Virk spennugreining

- PV91 – Peleveiledningen 2019 (β og Nq úr línuritum)
- SV-aðferð
- β-aðferð (API / ISO 19902)

Byggt á CPT

- NGI99 – Peleveiledningen 2019
- Fugro-05

Byggt á SPT

- Briaud et al.

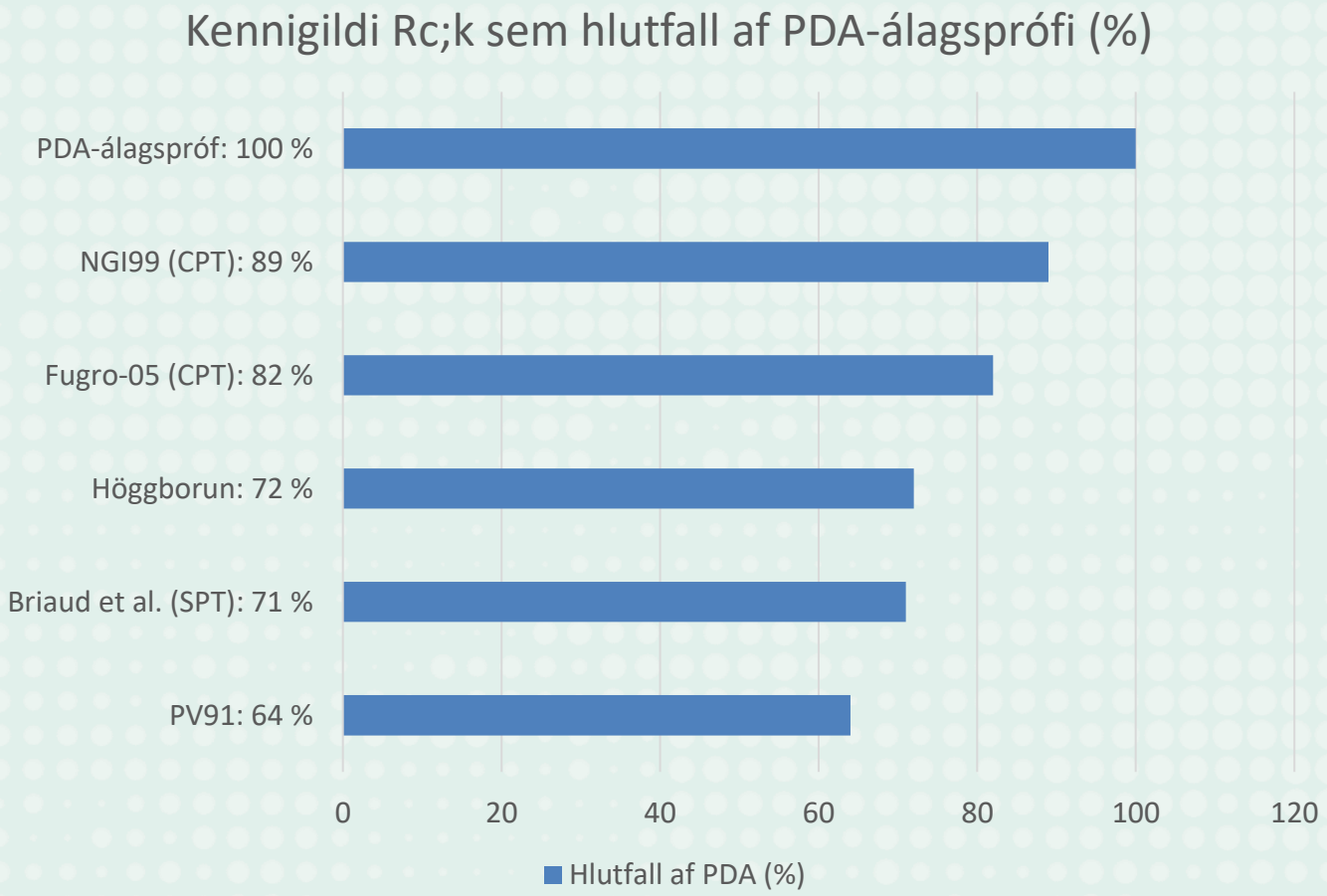
Byggt á niðurrekstri

- Rekjafna Janbu

Mæling – viðmið

- Statísk álagspróf
- PDA-álagspróf (CAPWAP)

Eskifjörður: CPT-aðferðir næst PDA



35×35 cm staurar, ~23 m langir

89 %

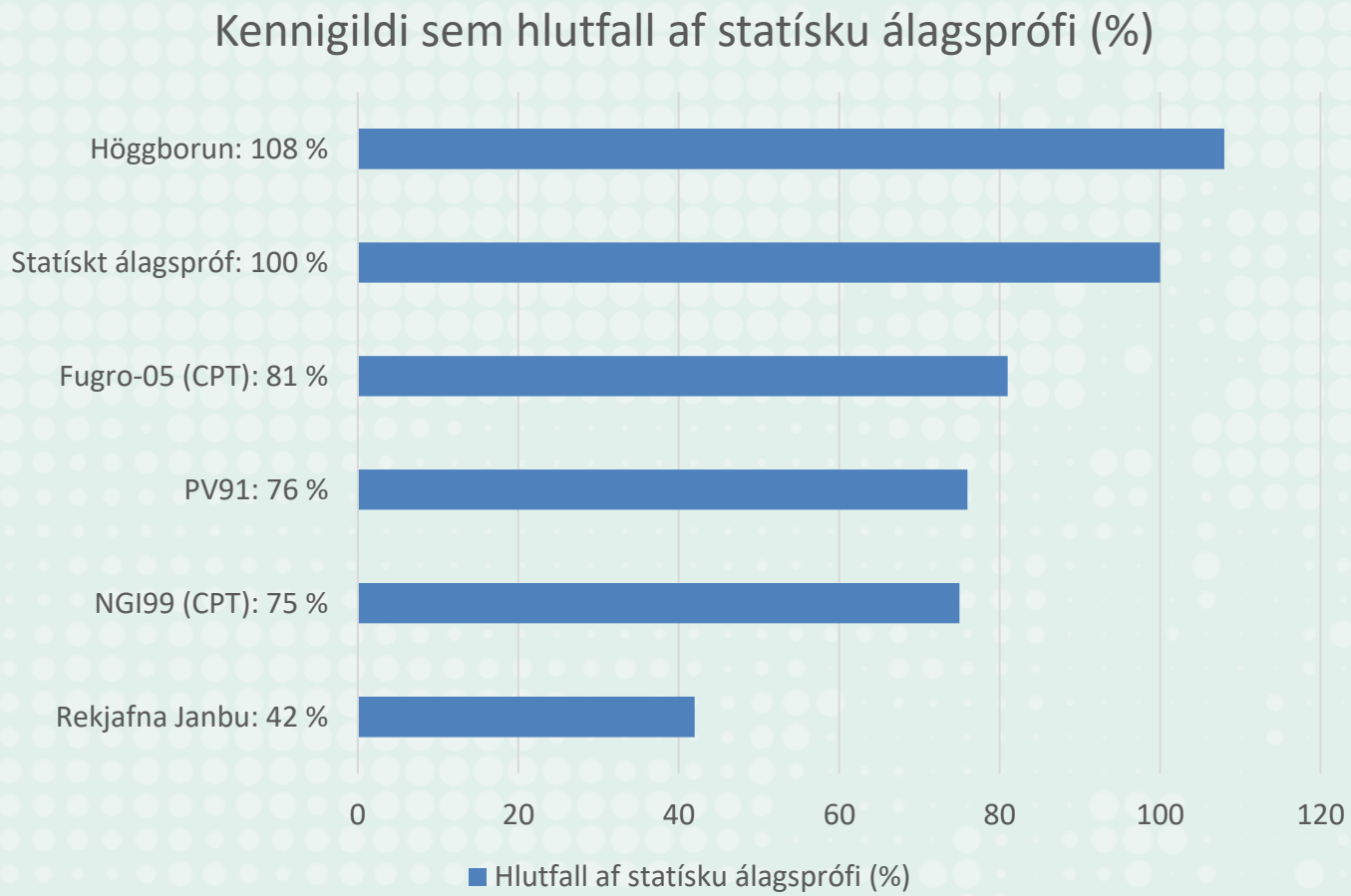
NGI99 (CPT) – næst PDA-álagsprófi

Jökulsá í Fljótsdal: 42–108 % á sama staur

Jökulsá í Fljótsdal
27×27 cm staurar, 29,5 m langir

42–108 %
Niðurstöður reikniaðferða sem hlutfall af mældu burðarþoli

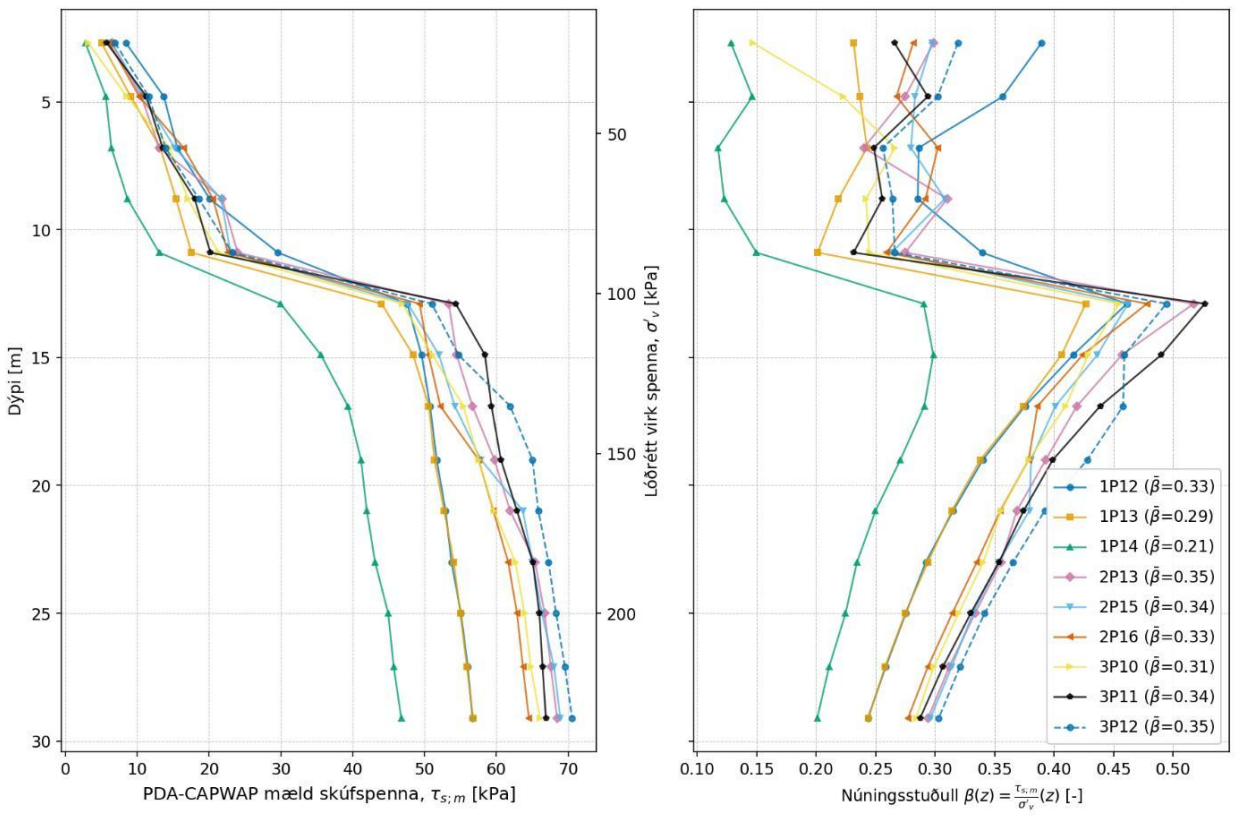
- Höggborun getur líka ofmetið burðargetu (108 %)
- CPT-aðferðir næst álagsprófum á báðum stöðum – en grunnar borholur = óvissa



Djúpá: PDA-álagspróf á 9 staurum

Ás	Staðsetning	Meðaltal (PDA)
Ás 1	Vestari endastöpull	1340 kN
Ás 2	Millistöpull	1493 kN
Ás 3	Eystri endastöpull	1503 kN

8–12 %
Hlutur endaburðar af heildarburðargetu



- 27×27 cm forsteyptir reknir staurar, ~29–30 m
- Hannaðir sem viðnámsstaurar
- PDA á 9 staurum (3 í hverjum ás), haust 2022 – CAPWAP

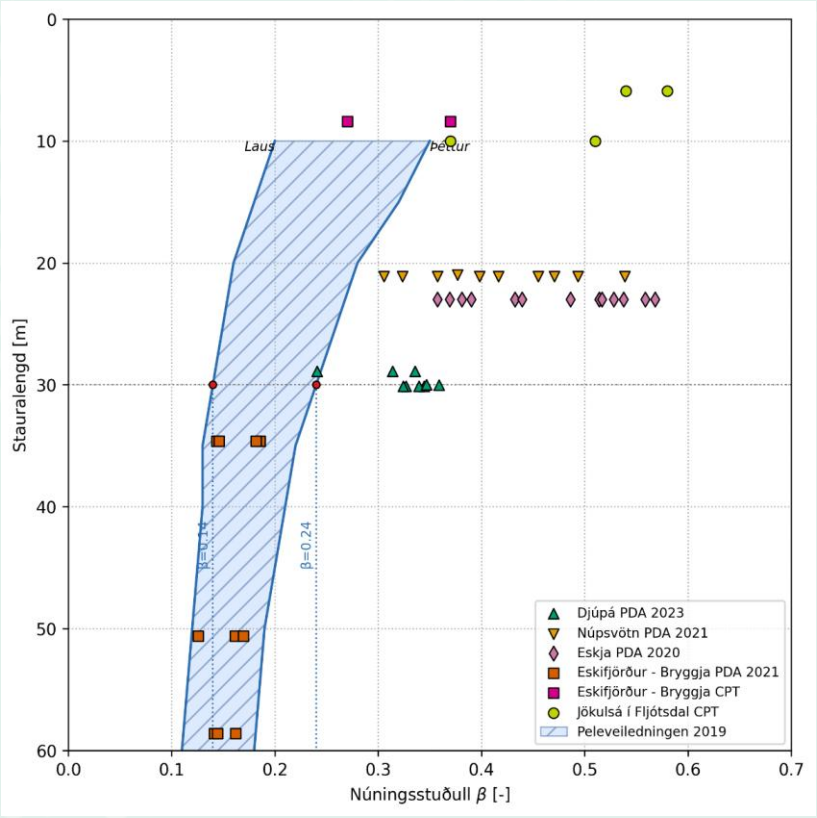
Bakreiknaður núningsstuðull β

0,33

Djúpá – meðaltal β (bil 0,29–0,35)

0,24

PV-2019, þéttur sandur við 30 m (laus: 0,12)

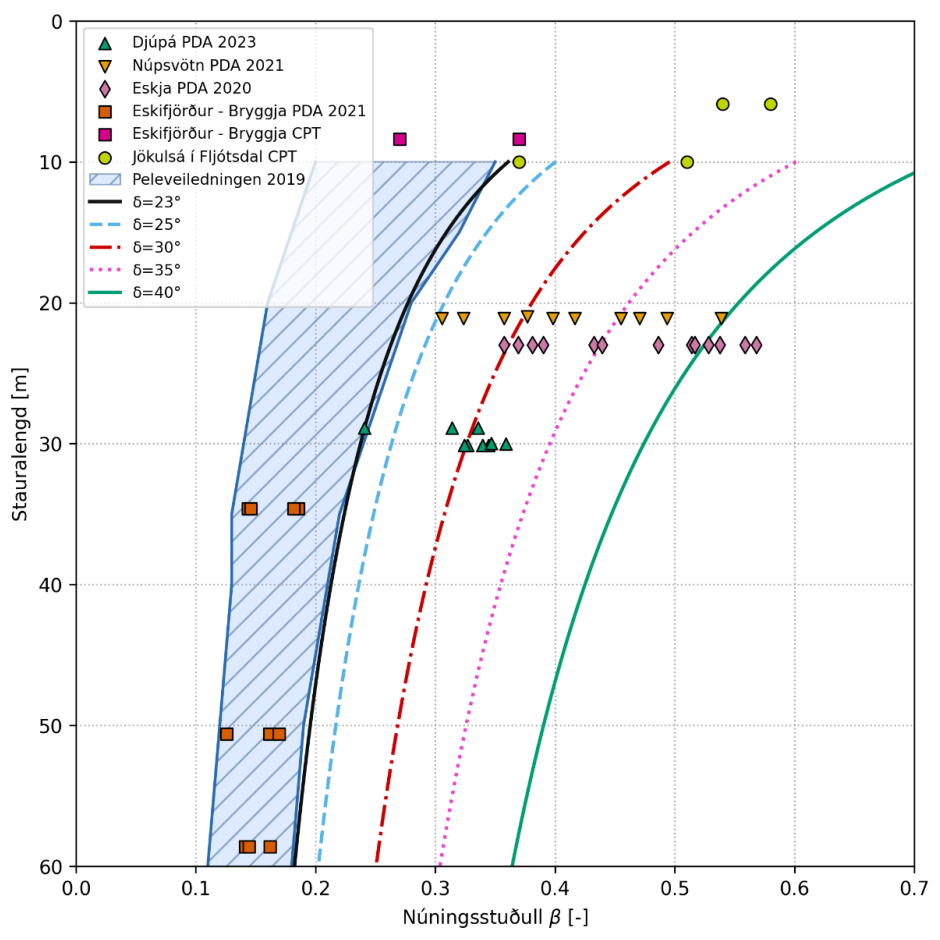


PV-2019 gefur aðeins ~72 % af mældu gildi

Norskar leiðbeiningar vanmeta núningsmótstöðu í sendnum jarðefnum við íslenskar aðstæður.

Meðaltal β á öðrum stöðum	β
Núpsvötn	0,36
Eskja – frystigeymsla	0,53
Eskifjörður – bryggja og prufustaurar (mjög laust sendið silti)	0,18

Tillaga að aðlöguðum β-stuðli



$$\beta = K \cdot \tan(\delta) \cdot (L_0 / L)^n$$

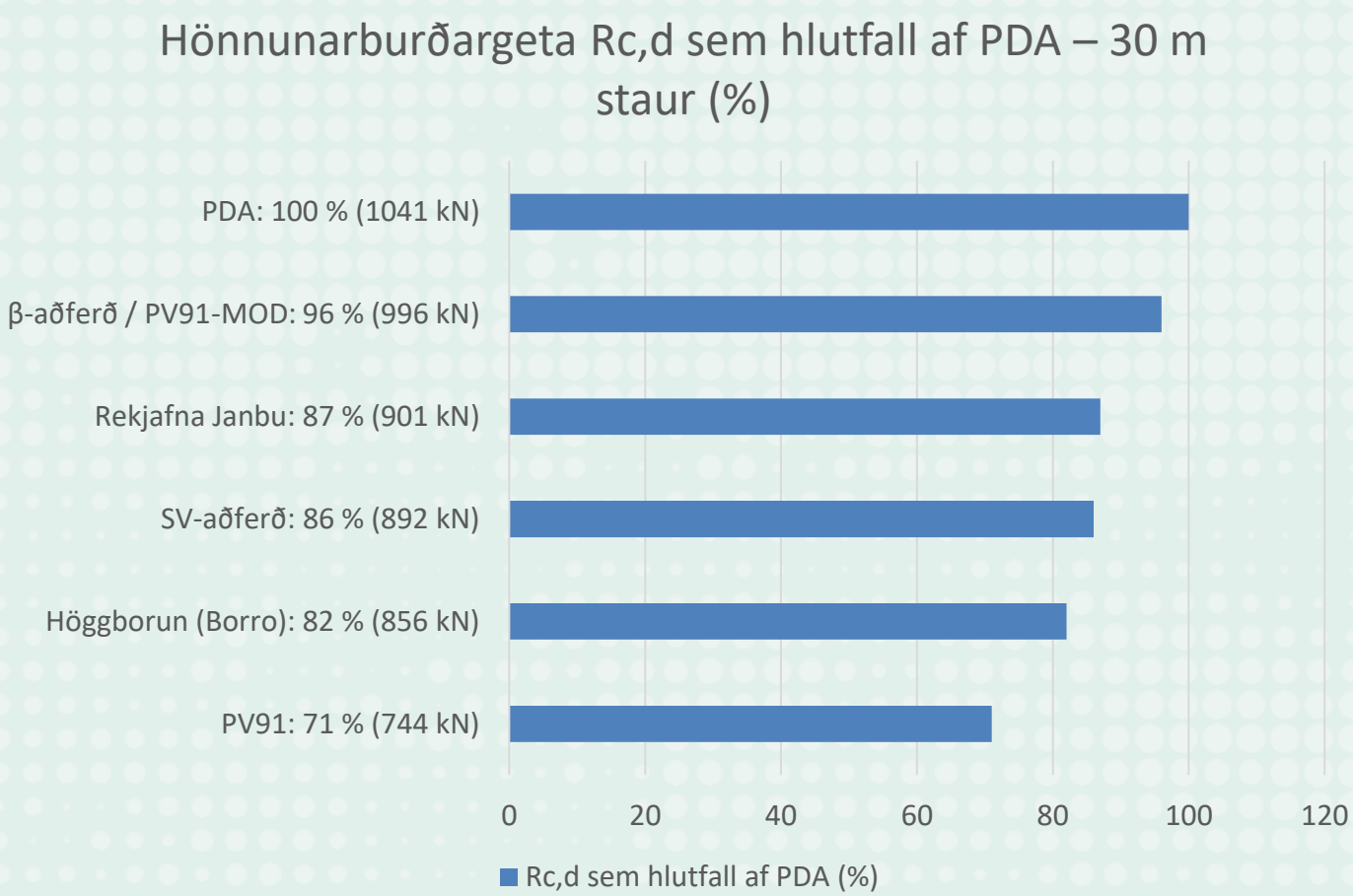
$K = 1{,}0 \cdot L_0 = 6{,}7\ m \cdot n = 0{,}38 \cdot \delta = \varphi$

- δ = 23° fellur að PV-2019 en hærri δ gefur ferla sem passa betur við mælingar
- Dýptaráhrif: núningsmótstaða skerðist með aukinni lengd
- Endaburður: Nq bakreiknaður 7–9 við Djúpá, PV-2019 gefur 12 (ofmat)

FYRIRVARI

Byggt á fáum staurum – gildir strangt til tekið fyrir ~30 m staura

Djúpá: aðlöguð β-aðferð næst PDA



96 %

Aðlöguð β-aðferð (PV91-MOD)

71–82 %

PV91 og höggborun – íhaldssamar

Hönnunargildi Rc,d fyrir 30 m staur borin saman við PDA-mælingu.

Ráðleggingar við val á hönnunaraðferð

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

Næstu skref

Jarðvegsrannsóknir
Framkvæma CPT prófanir við Djúpá og bera reikniaðferðir byggðar á CPT borunum saman við niðurstöður úr álagsprófunum

Reikniaðferðir
Skoða betur núningstuðul β m.t.t. fleiri niðurstaðna úr álagsprófunum og jarðvegsrannsókna sem búið er að safna saman

Jarðskjálftahönnun
Skoða jarðskjálftahönnun staura við Íslenskar aðstæður







Case: Valg av peler til ett prosjekt

I ett prosjekt er det beskrevet pelelaster på tilsammen 815.000 kN.

Pelelengde = 25 meter.

Regner med en gjennonsnittkapasitet og finner «ideelt/nødvendig» antall peler.

Stålkjernepeler: 166 stykk
- Kostnad: 139.000 GeoCoins

Stålkjernepeler: 166 stykk
- 1.694.000 CO_2-ekv.

Betongpeler: 501 stykk
- Kostnad: 108.000 GeoCoins

Betongpeler: 501 stykk
- 375.000 CO_2-ekv.

BSR-peler (utstøpt): 298 stykk
- Kostnad: 163.000 GeoCoins

BSR-peler (utstøpt): 298 stykk
- 1.155.000 CO_2-ekv.

HP-peler: 156 stykk
- Kostnad: 123.000 GeoCoins

HP-peler: 156 stykk
- 312.000 CO_2-ekv.



RR-peler: 470 stykk
- Kostnad: 105.000 GeoCoins

RR-peler: 470 stykk
- 1.435.000 CO_2-ekv.




Verdal bru, E6 norðan við Þrándheim, byggð 1972


Hróarslækur, Hringvegurinn, byggð 1982


Búrfellslína 1, byggð 1976



Lagarfljót, að hluta grunduð á staurum frá 1905


Pont Neuf París, byggð 1607


Rialto Venice, byggð 1591

TRÉSTAURAR ?

Ættum við ekki að fara að nota þá aftur/meira – Umhverfisvæn lausn


EFLA
Takk fyrir
© Ullevaal stadion