

STAURAUÐIRSTÖÐUR FYRIR BRÝR

DAGS.

27.10.2021

HÖFUNDUR

Andri Gunnarsson

Inngangur og markmið verkefnis

Stauraundirstöður eru nokkuð algeng grundun fyrir brýr á Íslandi, sérstaklega á Suðurlandi þar sem verið er að byggja brýr á sandi/möl og fastur botn yfirleitt vandfundinn. Einnig er algengt að það séu nokkrir metrar á fast í árfarvegum þar sem ár grafa sig niður með tímanum.

Hægt er að hanna stauraundirstöður með viðnámsstaurum í sandi með útreikningum sem byggja á virkri spennu í jarðveginum og skriðhorni. Á Íslandi hefur hins vegar almennt verið stuðst við viðmiðunargildi fyrir burðarþol staura þar sem burðarþol er metið m.t.t. niðurstaðna úr höggborun. Þessi viðmiðunargildi voru birt í Árbók VFÍ 1993 í samantekt sem Jón Skúlason gerði fyrir 53 álagspróf sem höfðu verið framkvæmd á Íslandi.

Jarðlög	Pökkun	Borro			
		borun tm/m	Brotálag/flatarmál (t/m ²)		
			Steyptur	Tré	Stál
Sandur og mól	Lítill	1,5	5	11	
	Mikil	4	10	14	
Sandur	Lítill	1,5	3	8	2,5
	Mikil	4	6	11	3
Lífrænt sílt	Lítill	1,5		2,5	
	Mikil	4		3	

MYND 1 Viðmiðunargildi fyrir burðarþol staura (Árbók VFÍ 1993, Jón Skúlason).

Verkefninu er skipt í eftirfarandi hluta:

- Skoða þær hönnunaraðferðir sem notaðar eru við hönnun á viðnámsstaurum
- Taka saman mælingar á burðarþoli staura sem gerðar hafa verið á Íslandi
- Framkvæma dýnamískt (PDA) álagspróf til að áætla burðarþol staura og bera saman niðurstöður við hefðbundið statískt álagspróf og aðrar reikniaðferðir fyrir burðarþol
- Gera tillögu að verkþætti/verklýsingu fyrir dýnamískt álagspróf
- Gera tillögu að jarðkönnunum sem æskilegt væri að gera fyrir hönnun á stauraundirstöðum

Helsta markmiðið með verkefninu er að skoða notkun á nýrri tegund af álagsprófum fyrir staura og leggja þannig grunn að því að hægt sé að álagsprófa staura í brúarundirstöðum á skilvirkari og einfaldari hátt en hingað til. Þannig er hægt að safna fleiri punktum inn í töfluna fyrir viðmiðunargildin frá 1993 og tengja betur saman burðarþol staura, eiginleika jarðvegs og niðurstöður úr höggborun.

Ávinningurinn af þessu er að vonandi er hægt að hækka viðmiðunargildin fyrir burðarþol staura með fleiri prófunum og stærra þýði. Annar ávinningur af álagsprófunum er að þær staðfesta burðarþol stauraundirstaðna, hönnunarforsendur og þar með öryggi mannvirkisins.

Aukin vitneskja og betri gögn leiða til þess að hægt er að taka upplýstari ákvarðanir og þar með vonandi ná fram hagkvæmari og umhverfisvænni hönnun.

Hönnunaraðferðir viðnámsstaura í sandi

Eftirfarandi hönnunaraðferðir eru almennt notaðar við hönnun á viðnámsstaurum í sandi

- Reikniaðferðir skv. Eurocode 7 og Peleveiledningen 2019
- Höggborun og viðmiðunargildi fyrir burðarþol staura skv. Árbók VFÍ 1993
- Einnig er hægt að nota gögn frá niðurrekstri (þ.e. orku við að reka niður staur ákveðna vegalengd) til að meta burðarþol og þar með staðfesta áætlað burðarþol við hönnun

Reikniaðferðir skv. Eurocode 7 og Peleveiledningen byggja á því að lagskipting jarðlaga og eiginleikar þeirra séu þekktir. Núningsburður í hverju jarðlagi er reiknaður og síðan lagður saman eftir lengd stauris ásamt endaburði. Það hefur sýnt sig að þessi aðferð er nokkuð íhaldssöm við Íslenskar aðstæður og þá sérstaklega í sandi.

Sú aðferð sem oftast er notuð á Íslandi er að framkvæma höggborun og meta síðan burðarþol á fermeter af staur út frá niðurstöðum höggborunar og þekktra viðmiðunargilda fyrir burðarþol staura. Þessi viðmiðunargildi eru byggð á státskum álagsprófunum og því almennt talin nokkuð áreiðanleg ef verið er að hanna staura í sambærilegum jarðvegsaðstæðum og viðmiðunargildin byggja á. Ókosturinn við þessa aðferð er að sú að hún byggir á því að hönnuður hafi reynslu og tilfinningu fyrir notkun á þessari aðferð. Það er ekki endilega línuleg hegðun milli mótstöðu sem er mæld í höggborun og burðarþols staura og aukin mótstaða við borun þýðir ekki endilega að burðarþol sé að aukast.

Við niðurrekstur á staurum þá er orka sem er notuð við að reka staurinn niður ákveðna vegalengd venjulega skrásett. Út frá þessum gögnum er hægt að reikna burðarþol staura með svokölluðum niðurrekstrarformúlum. Þessi aðferð er mjög viðkvæm fyrir því að þær inntaksbreytur sem eru skilgreindar séu nákvæmar, orka og færsla, og smávægilegar skekkjur í inntaksbreytum geta haft mikil áhrif á áætlað burðarþol. Þessi aðferð getur verið íhaldssöm en virkar ágætlega til að staðfesta öryggi hönnunar.

Skv. nýlegum rannsóknum (Peleveiledningen 2019) þá getur burðarþol staura í sandi tvöfaldast á 1-2 árum þegar sandurinn þéttir sig að staurunum og þórurþýstingur jafnar sig. Þessa virkni er ekki hægt að meta með neinum af ofangreindum hönnunaraðferðum.

Álagspróf stauraundirstaðna

Státskt álagspróf var áður fyrr algengasta aðferðin við að mæla burðarþol staura en síðustu 20-30 árin hafa dýnamískar mælingar á burðarþoli orðið algengari enda mun einfaldari í framkvæmd. Dýnamísk álagspróf eru t.a.m. almennt notuð í verkefnum í Skandinavíu til að staðfesta hönnunarforsendur og öryggi mannvirkja.

Státskt álagspróf er nákvæmasta mælingin á burðarþoli staura sem hægt er að gera en þau er hins vegar tímafrek og kostnaðarsöm. Til þess að framkvæma slík álagspróf þarf að tengja öflugt stálbitakerfi við fjóra akkerisstaura sem eru reknir niður í kringum staurinn sem á að prófa. Síðan er notaður vökvatjakkur til að þrýsta staur niður þangað til brot verður í jarðvegi. Álagið er sett á staurinn í skrefum og eitt álagspróf tekur að jafnaði einn dag.

Dýnamísk álagspróf eru einföld og fljótleg í framkvæmd. Tveir hröðunarnemar og tveir streitunemar eru festir við toppinn á staurnum og tengdir við tölvu sem notar sérstakan hugbúnað til að vinna úr gögnum frá nemunum. Það eru síðan keyrðar tvær til þrjár höggseríur á staurinn sem er prófaður með staurahamrinum. Hvert álagspróf tekur aðeins um 30-60 mínútur.

Nákvæmi er ekki eins mikil og við státskt álagspróf en samanburður á milli þessara prófunaraðferða hefur sýnt fram á að nákvæmni dýnamískra álagsprófa sé vel ásættanleg.

Mælingar á burðarþoli staura á Íslandi

Frá því að viðmiðunargildi fyrir burðarþol staura voru birt í Árbók VFÍ 1993 þá hefur lítið verið gert af álagsprófunum og Vegagerðin á bara til gögn um 3 álagspróf síðastliðin 30 ár.

Einkaaðilar hafa líka framkvæmt álagspróf en það er ekki auðvelt að nálgast upplýsingar um slíkar prófanir og þá er líklega ekki um margar prófanir að ræða enda er notkun á viðnámsberandi staurum fyrir mannvirki ekki algeng.

Síðastliðin tvö ár þá hefur EFLA komið að dýnamískum álagsprófunum í verkefnum á Austfjörðum þar sem notaðir voru viðnámsberandi staurar undir frystiklefa og bryggju. Í þessum tveimur verkefnum voru gerð samtals 23 álagspróf. Það er því raunhæft og vel mögulegt að framkvæma dýnamísk álagspróf á Íslandi

Niðurstöður úr dýnamísku álagsprófi við Núpsvötn og samanburður við aðrar reikniaðferðir

Það voru gerð tíu dýnamísk álagspróf á staurum undir nýja brú yfir Núpsvötn í lok ágúst 2021. Staðsetningin fyrir álagsprófin hentar mjög vel því það voru framkvæmdar jarðrannsóknir og höggboranir í brúarstæðinu við hönnun brúarinnar. Auk þess voru staurarnir undir gömlu brúna álagsprófaðir með statísku álagsprófi 1973. Það er því hægt að bera saman niðurstöður úr dýnamíska álagsprófinu við mismunandi hönnunaraðferðir.

Staurarnir sem prófaðir voru við Núpsvötn eru hefðbundir 270x270 mm steinsteyptir staurar. Jarðvegur í brúarstæðinu samanstendur af sandi og mól og staurarnir eru reknir niður í fast jarðlag á um 20-21 m dýpi.

Við samanburð á hönnunaraðferðum þarf að taka tillit til leiðréttingarstuðuls sem lagður er á grunnigildi burðarþols sem reiknað er út. Þessi leiðréttingarstuðull tekur mið af nákvæmni og öryggi hönnunaraðferðar.

Burðarþol fyrir 21 m langan staur var reiknað skv. eftirfarandi hönnunaraðferðum

- Statísku álagsprófi á fjórum staurum undir gömlu brúna frá 1973. Burðarþol skv. þessu álagsprófi er skilgreint sem „rétt“ burðarþol fyrir staurana.
- Skv. niðurrekstrarformúlum þar sem orka við að reka niður staurana síðustu 1-2 m er notuð til að áætla burðarþol. Notuð voru um 20-21 kJ við að reka staur 5-6 mm við lok niðurreksturs.
- Skv. niðurstöðu tveggja höggborana í brúarstæðinu þá er meðalgildi mótstöðu um 1,4 tm/m.
- Skv. jarðkönnun (3 boranir) er jarðvegur skilgreindur sem malar- og sandlög með skriðhorn 35° og rúmþyngd 19 kN/m³. Reiknað er með að grunnvatn sé á um 5 m dýpi undir yfirborði.

Niðurstöður úr dýnamísku álagsprófi og áætlað burðarþol skv. hönnunaraðferðum sem skilgreindar eru hér að ofan eru birtar í töflu 1.

TAFLA 1 Samanburður á niðurstöðum úr dýnamískum álagsprófunum, statískum álagsprófunum og reikniaðferðum

FLOKKUR	FLOKKUR	STATÍSKT ÁLAGSPRÓF	DÝNAMÍSKT ÁLAGSPRÓF	SKV. NIÐURREKSTRAR- GÖGNUM	HÖGGBORUN	EUROCODE 7
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
Mælt/reiknað burðarþol	$R_{s,cal}$	1090	1125	1170	1020	925
Leiðréttingarstuðull	ξ	1	1,15	1,595	1,45	1,45
Kennigildi hönnunar	$R_{s,k}$	1090	980	734	703	638
Hlutfall af statísku álagsprófi		100%	90%	67%	65%	59%