

VERKEFNI: OS 7601

DJÚPBORINN JÖTUNN

STÖÐUGLEIKAATHUGUN

VEGNA JARÐSKJÁLFTA

JÚLIUS SÓLNES, VERKFRÆÐIÞJÓNUSTA
TJARNARBÓLI 8, SELTJARNARNESI
SÍMI: 28112.

MAÍ 1976

STÖÐUGLEIKI JÖTUNS

1. Ingangur

Við fyrirhugaðar jarðboranir á Kröflusvæðinu með djúpbornum Jötni stafar hættu á því, að borinn geti oltið af völdum jarðskjálfta.

Hér á eftir er reynt að gera grein fyrir þessari áhættu og síðan tekið til athugunar hver sé stöðugleiki borsins í hugsanlegum jarðskjálfta, er veldur láréttri kraftáraun á mastur borsins. Er fyrst og fremst um að ræða hvort undirstaða borsins veiti nægjanlega mótspyrnu gegn veltu, þ.e. hafi nægjanlegt mótspyrnuvægi gegn veltuvægi jarðskjálftakraftanna. Veltuvægi jarðskjálftahreyfingarinnar, sem hugsað er að virki annars vegar þvert á langás undirstöðu borsins og hins vegar samsíða langás, er metið og síðan borið saman við mótspyrnu jarðvegsins, sem er reiknuð á grundvelli þeirra upplýsinga, sem tiltækar eru um jarðtæknilega eiginleika fyllingarinnar í borplönunum.

Þá er einnig framkvæmd lausleg athugun á sveifluhreyfingu bormastursins í jarðskjálfta, og kraftáraun í helztu stöngum í mastrinu, þ.e. í A-ramma, er metin. Átak á pinna-(bolta-)festingar er einnig metið.

Aðal forsenda fyrir eftirfarandi útreikningum er sú, að miðað er við, að stærstu jarðskjálftar á Kröflusvæðinu verði ekki stærri en 6.0 stig á kvarða Richters. Þá er reiknað með, að jarðskjálftaáraunin sé með láréttum bylgjukröftum, sem myndu þá vera sambland S-bylgjuhreyfingar og yfirborðsbylgjuhreyfingar jarðskjálfta af stærð 6.0, er ætti upptök sín nálægt bornum.

2.0 Lárétt yfirborðshröðun

Til ákvörðunar á mestu yfirborðshröðun, sem gæti orðið í jarðskjálfta að stærð 6.0 á upptakasvæði hans (upptakasvæðið, þ.e. " epicentral region " er hér skilgreint sem svæðið utan um " epicentrum " með þvermáli jafnt og tvöfalt dýpi jarðskjálftans.)

hefði þurft að framkvæma hröðunarmælingar með þar til gerðum hröðunarmælum (strong motion accelerometers). Einn slíkur mælir hefur verið keyptur til landsins, og er verið að stilla hann og koma honum síðan fyrir í stöðvarhúsi Kröfluvirkjunar. Jarðskjálftamælingar þær, sem hafa verið framkvæmdar á svæðinu á vegum Raunvísindastofnunar, byggjast á mælingu á hraða yfirborðsins (velocity) og er því ekki hægt að nota þær til ákvörðunnar á mestu hröðun yfirborðsins.

Ýmsar aðferðir hafa verið settar fram til þess að meta mestu yfirborðshröðun í jarðskjálftum. Gutenberg og Richter (1) setja fram eftirfarandi líkingu til ákvörðunnar á hröðuninni. A_0 (mesta hröðun yfirborðs á upptakasvæðinu).

$$\log_{10} A_0 = -2.1 + 0.81M - 0.027M^2$$

þar sem M er Richterstærð jarðskjálftans. Fyrir $M=6.0$ fæst $A_0 = 61 \text{ Gal (cm/sek}^2 \text{)}$. Hér er miðað við að engin mögnun á hreyfingunni eigi sér stað af völdum yfirborðsjarðlaga.

K.Kanai (2) hefur rannsakað hliðstæða jarðskjálfta og þá, sem fundist hafa á Kröflusvæðinu við Matsushiro í Japan 1966. Byggt á mælingum á mestu hröðun yfirborðs í þeim jarðskjálftum setur K.Kanai fram líkinguna

$$\log_{10}((A_0 T_g)/5) = 0.61M - P \log_{10} D + Q$$

þar sem T_g er aðal sveiflutími jarðaryfirborðs (Predominant period of ground), D er fjarlægð frá upptökum (epicentrum) í km og

$$P = 1.66 + 3.60/D \quad D \geq 5 \text{ km}$$

$$Q = 0.167 - 1.83/D$$

Ef áætluð eru gildin, $M=6.0$ og $D=5 \text{ km}$ fæst

$$P = 2.38 \text{ og } Q = -0.20$$

og

$$\log_{10}((A_0 T_g)/5) = 1.80$$

eða

$$A_0 = 315.48 / T_g$$

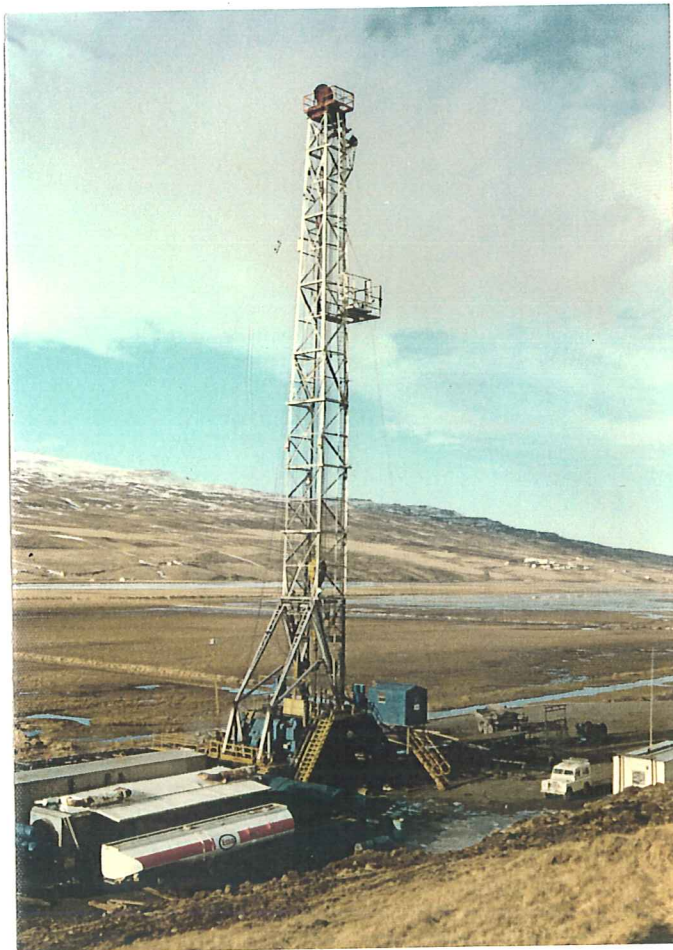
Sveiflutíma jarðaryfirborðs borplana má áætla í kringum 2.5 sek og fæst þá endanlega að $A_0 = 199.53 \text{ Gal}$, en gera verður ráð fyrir,

að jarðvegur í borplönunum sé laus í sér og fáist því fremur hátt gildi á sveiflutímanum T_g .

Samkvæmt ofanrituðu er ljóst, að þar sem nær engin mögnun hreyfingarinnar á sér stað verður mesta yfirborðshröðun af stærðinni 60-100 Gal, en með yfirborðsmögnun af stærðinni 200 Gal. Þó er vafasamt að jarðvegur í borplönunum sé svo sterkur, að svo sterk jarðskjálftahreyfing geti borizt til yfirborðsins sem bylgjuhreyfing. Þó þykir ráðlegt að meta mestu hröðun yfirborðs á borplönunum.

$$A_0 = 200 \text{ Gal.}$$

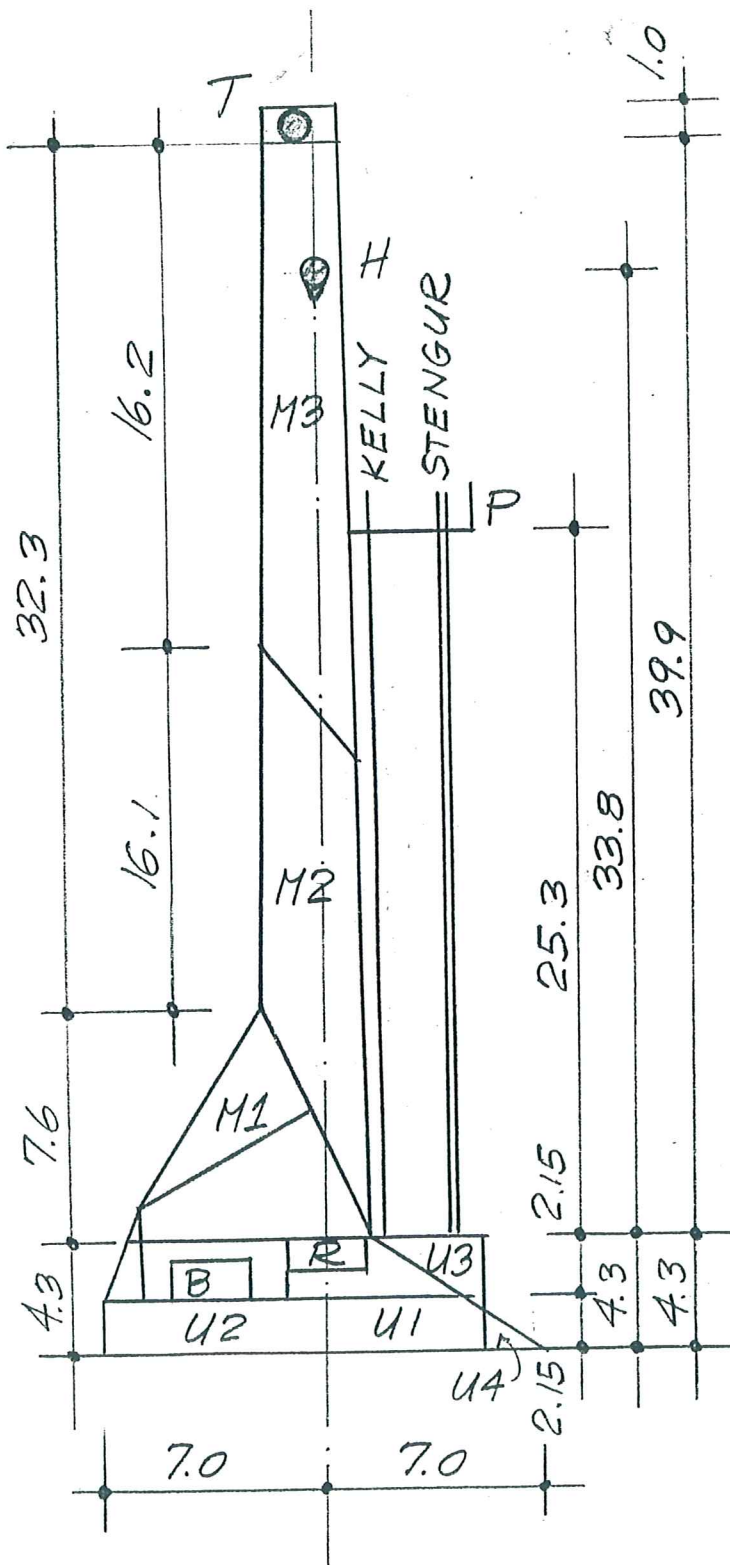
3. Massadreifing bors



Mynd 1: Djúpborinn Jötunn.

Mynd 1 sýnir borin við borun á Syðra-Laugalandi í Eyjafirði. Á mynd 2 er sýnd yfirlitsteikning af bornum og helztu atriði þar merkt, þungi þeirra hluta borsins, sem þannig eru skilgreindir sýndir í töflu við hliðina á myndinni. Þungi borsins er fenginn

samkvæmt upplýsingum Sveins Schevings og einnig ráðinn af þeim teikningum, sem fylgja bornum frá framleiðanda.



Tafla 1: Þungar í kp.

T (toppblökk):	6123
H (hlaupablökk):	9525
M3 (mastur 3):	6804
M2 (mastur 2):	11567
M1 (A-rammi):	3357
B (boraspil):	24948
R (rotary):	9072
U1 (undirstaða):	19731
U2 ("):	8618
U3 ("):	9072
P (stangapallur)	
a) skipt um borkrónu á bordýpi 2000 m. Bor- stengur og Kellysteng- ur við stangapall.	
Þungi lóðrétt:	77111
Þungi lárétt:	3620
b) skipt um borkrónu á bordýpi 800 m. Bor- stengur og Kellysteng- ur við stangapall.	
Þungi lóðrétt:	40823
Þungi lárétt:	1916
c) Kellystengur	
Þungi lóðrétt:	1400

Mynd 2: Yfirlitsmynd

4. Veltuvægi jarðskjálftakrafta

Miðað við yfirborðshröðunina 200 Gal er nú reiknað veltuvægi jarðskjálftakraftanna, sem virka á borinn í tveimur tilvikum.

- 1) Á 2000 metra bordýpi þarf að skipta um borkrónu, og verður borinn fyrir jarðskjálftaáráuninni með allar stengur uppi.
- 2) Á 800 metra bordýpi þarf að skipta um borkrónu, og verður borinn fyrir jarðskjálftaáráuninni með allar stengur uppi.

Jarðskjálftaáráunina má í báðum tilvikum meta sem jafngildi láréttra krafta, sem virka í þungamiðju hvers borhluta. Stærð kraftanna er fundin sem þungi hluta margfaldaður með hlutfallslegri hröðun, þ.e. 200/g, þar sem g er þyngdarhröðunin 981 Gal. Niðurstöður útreikninga eru sýndar í töflu 2 hér að neðan.

Tafla 2: Veltuvægi jarðskjálftakrafta.

Merki	Þungi (Mp)	Jarðskjálftakraftur (Mp)	Vægi-armur (m)	Veltu-vægi (Mpm)	Veltu-vægi (Mpm)	Ath. sendir
	V	$F=V \cdot C$	e	$F \cdot e$ 1)	$F \cdot e$ 2)	
T	6123	1.22	45.2	55.14		
H	9525	1.91	38.1	72.77		
M3	6804	1.36	34.2	46.51		
M2	11567	2.31	15.3	35.34		
M1	3357	.67	8.3	5.56		
B	77111	15.42	17.0	262.14	138.80	Borsteng.
	3620	3.62	29.6	107.15	56.71	" lárétt
	1400	0.28	17.0	4.76	4.76	Kelly
B	24948	4.99	3.0	14.97		
R	9072	1.81	4.0	7.24		
U1	19731	1.97	2.1	4.14		x .5
U2	8618	.86	2.1	1.81		x .5
U3	9072	1.81	3.4	6.15		
Σ_1	108817	18.91		249.6	249.6	
Σ_2	78511	19.04		618.91	445.11	

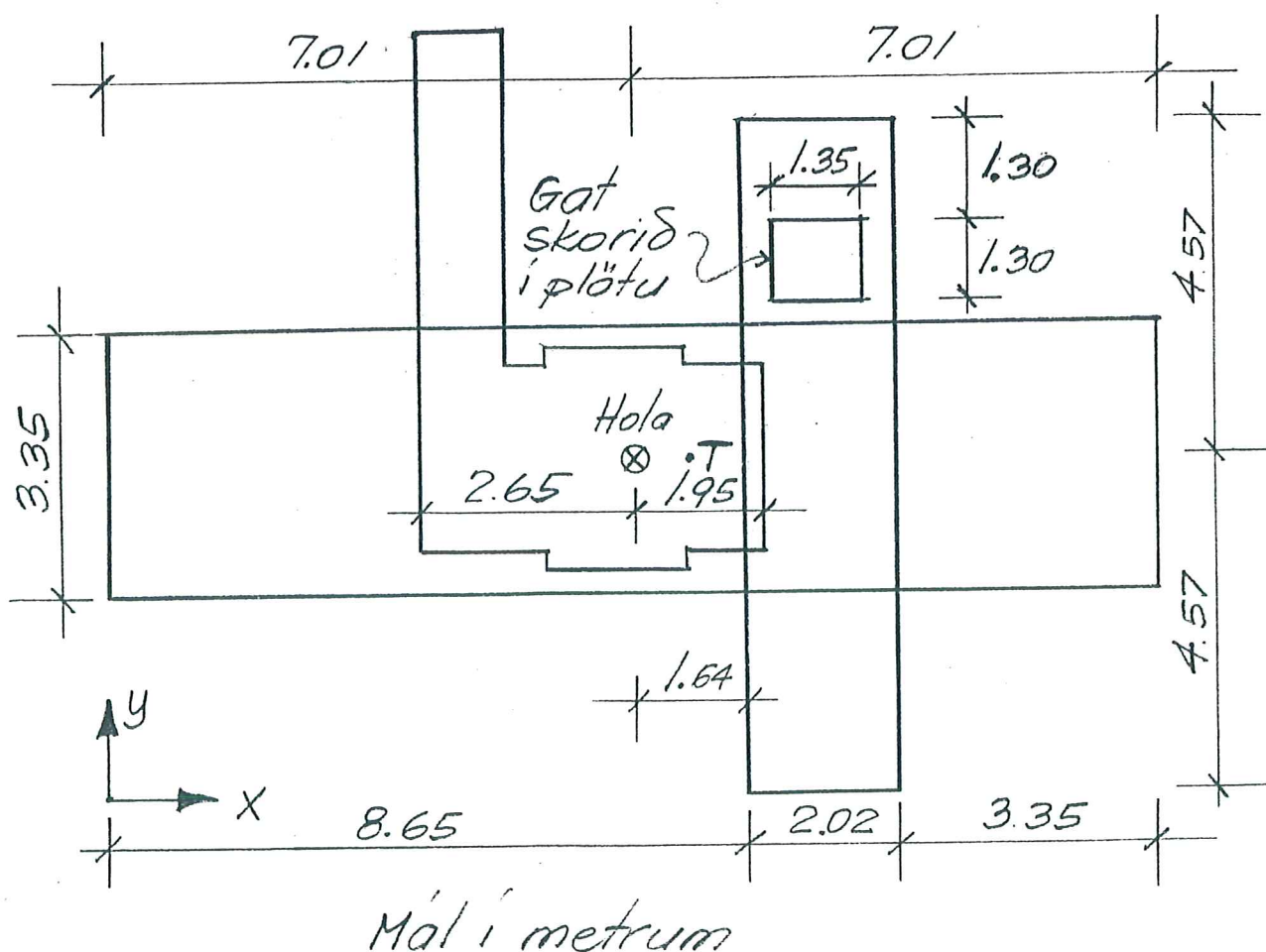
5. Mótvægi undirstöðu

A mynd 3 er sýnd grunnmynd af undirstöðu borsins og borkjallara. Jarðvegur í undirstöðu, þ.e. borplani, er mulin hraunfylling, og er úplýst (Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen sf) að núningshorn fyllingarinnar sé, $\varphi = 40^\circ$, en rúmpungi $\gamma = 1.3 \text{ mp/m}^3$. Burðareiginleikum þurra jarðefna (sandur, mól og þ.h.) er lýst með líkingunni (burðarlíking sands):

$$b = Q/\bar{A} = 1/2 \cdot \bar{B} (N_q - 1) (1 - 1.5 \frac{H}{V})^2 (1 - 0.4 \frac{\bar{B}}{\bar{L}})$$

Þyngdarpunktur undirstöðu hefur hnitin $x_T = 7.75 \text{ m}$ og $y_T = 1.68 \text{ m}$ (sjá mynd 3.). N_q er burðareiginleiki sands og er $N_q = 65$ fyrir $\varphi = 40^\circ$. H eru láréttir veltukraftar, V eru lóðréttir kraftar, sem virka á undirstöðuna. \bar{A} er virkt flatarmál undirstöðunnar og \bar{B} og \bar{L} er virk breidd og virk lengd undirstöðu.

Mynd 3: Undirstaða, grunnmynd.



5.1 Borkrónuskipti á 2000 m dýpi

Láréttir kraftar samanlagt eru $H= 37.95$ Mp og lóðréttir kraftar eru $V= 187.3$ Mp ($\Sigma_1 + \Sigma_2$, sjá Töflu 1). Veltuvægið $M= 618.91$ Mpm. Því til viðbótar kemur vægi frá eiginþunga borstanga, sem er 113.89 Mpm fyrir veltu um langás undirstöðu.

5.11 Veltuvægi um langás undirstöðu

$$V=187.3 \text{ Mp}$$

$$H= 37.95 \text{ Mp}$$

$$M= 732.8 \text{ Mpm.}$$

Miðjufrávik $e_B=M/V=3.92\text{m}$. Verg álagsbreidd $\bar{B}= B-2 \cdot e_B$
 $\bar{B}=1.3 \text{ m}$, $\bar{L}=2.02$, $\bar{A}= 2.63 \text{ m}^2$.

$$b=Q/\bar{A}= 19.46 \text{ Mp/m}^2. \quad Q= 51.10 \text{ Mp} < 187.3 \text{ Mp}$$

Undirstöðuflötur borsins er augsnýnilega ekki nógu stór. Með því að styrkja undirstöðuna með steiptum fleka, sem væri komið fyrir undir endum undirstöðuvængja borsins, stærð fleka er $2.1 \cdot 3.1 \text{ m}^2$, fäst: ($\bar{A}= 6.51 \text{ m}^2$, $\bar{B}= 2.1\text{m}$, $\bar{L}= 3.1 \text{ m}$)

$$b=Q/\bar{A}= 30.85 \text{ Mp/m}^2, \quad Q= 200.85 \text{ Mp} > 187.3 \text{ Mp}$$

og undirstaða því nægjanlega örugg gegn veltuvæginu.

5.12 Veltuvægi þvert á langás undirstöðu

$$V= 187.3 \text{ Mp}$$

$$H= 37.95$$

$$M= 249.6+262.14+4.76+1.4 \cdot 2.5+77.11 \cdot 5.3= 928.7 \text{ Mpm}$$

Miðjufrávik $e_B=M/V= 4.96 \text{ m}$. Verg álagsbreidd $\bar{B}=14.02-2 \cdot 4.96= 4.10 \text{ m} < 5.06 \text{ m}$ (ok). $\bar{L}= 3.35 \text{ m}$, $\bar{A}= 13.74 \text{ m}^2$.

$$b=Q/\bar{A}= 42.18 \text{ Mp/m}^2. \quad Q= 579.60 \text{ Mp} > 187.3 \text{ Mp}$$

Undirstaða er nægjanlega stór.

5.2 Borkrónuskipti á 800 m dýpi

5.21 Veltuvægi um langás undirstöðu

$$V= 151.04 \text{ Mp} \quad (108.817+1.400+40.823)$$

$$H= 36.25 \text{ Mp}$$

$$M= 449.87+1.4 \cdot 1.6+40.823 \cdot 1.55= 515.39 \text{ Mpm}$$

Miðjufrávik $e_B = M/V = 3.41$ m. Verg álagsbreidd $\bar{B} = 2.32$ m.

Þeim megin, sem tekið hefur verið gat í botnplötu (sjá mynd 3, bls. 6) næst ekki meiri álagsbreidd en nemur 1.30 m. Með $\bar{B} = 2.32$, $\bar{L} = 2.02$ m, $\bar{A} = 4.69$ m² fæst:

$$b = Q/\bar{A} = 21.36 \text{ Mp/m}^2 \text{ og } Q = 100.2 \text{ Mp} < 151.04 \text{ Mp.}$$

Jafnvel þótt gatið sé ekki reiknað með er burðargetan of lítil.

Með sama fleka ($2.1 \cdot 3.1$ m²) og notaður var í fyrra tilvikinu fæst:

$$b = Q/\bar{A} = 26.078 \text{ Mp/m}^2 \text{ og } Q = 169.77 \text{ Mp} > 151.04 \text{ Mp.}$$

og öryggi gegn veltu er nú nægjanlega mikið.

5.22 Veltuvægi þvert á langás undirstöðu

$$V = 151.04 \text{ Mp}$$

$$H = 36.25 \text{ Mp}$$

$$M = 249.6 + 138.8 + 4.76 + 1.4 \cdot 2.5 + 40.82 \cdot 5.3 = 613.01 \text{ Mpm}$$

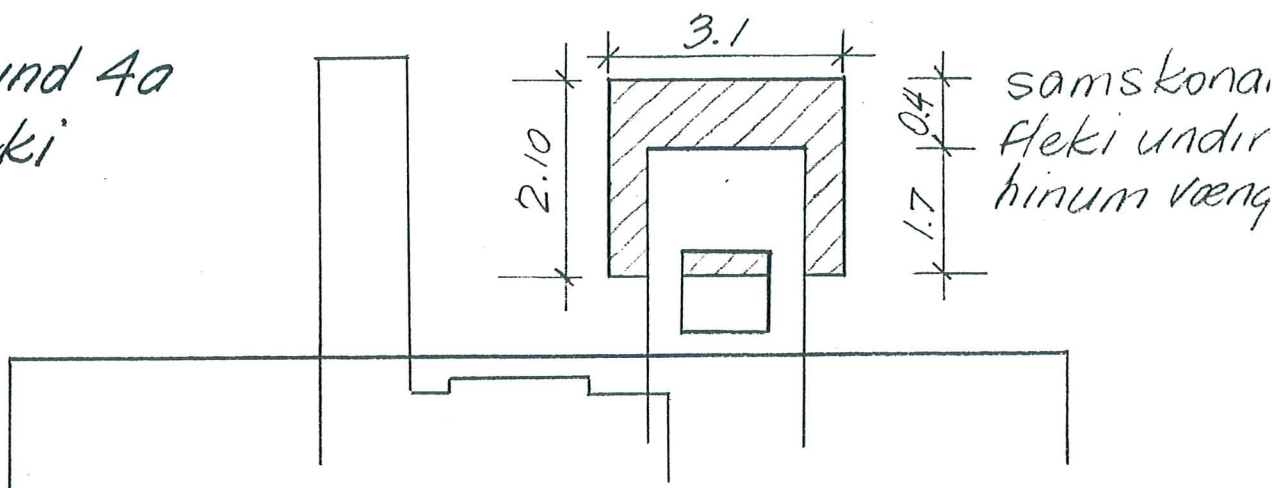
Miðjufrávik $e_B = M/V = 4.06$ m. Verg álagsbreidd $\bar{B} = 5.90$ m, sem er stærra en nýtanleg álagsbreidd $B = 5.06$ m. Hún er því notuð og $\bar{L} = 3.35$ m, $\bar{A} = 16.95$ m².

$$b = Q/\bar{A} = 34.12 \text{ Mp/m}^2 \text{ og } Q = 578.27 \text{ Mp} > 151.04 \text{ Mp.}$$

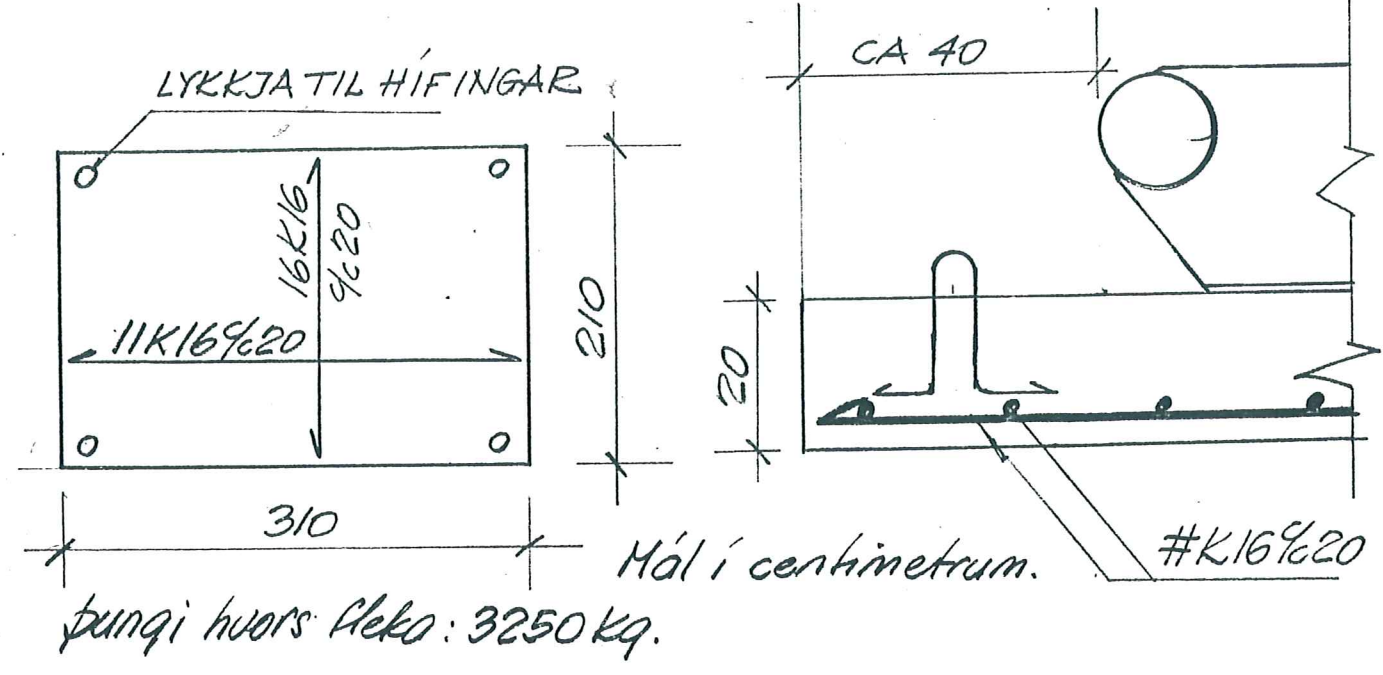
5.3 Undirstöðufleki

Eins og sést af reikningunum að ofan, er þörf fyrir að styrkja undirstöðunna til þess að auka mótspyrnu gegn veltuvæginu. Þetta væri gert hagkvæmast á þann hátt, að gerður sé steypdur, járnbentur fleki að stærð $2.1 \cdot 3.1$ m² og 20 cm þykkur. Hann sé járnbentur með $\text{K}16$ mm járni (kambstáli) með 20 cm millibili í báðar áttir (sjá mynd 4). Staðsetning hans er einnig sýnd á mynd 4.

Mynd 4a
Fleki



Mynd 4b: STEYPTUR FLEKI (2 STK.)



6. Styrkleiki A-ramma

Að framan hefur verið athugað hvort borinn geti oltið í heilu lagi um undirstöðuna. Til viðbótar þeirri athugun er rétt að kanna hegðun mastursins sjálfs með tilliti til undirstöðurammans. Mastrið, sem er stálgrindarmastur, hefur töluverðan sveigjanleika meðan undirstöðugrindin er mjög stíf. Mastrið getur því haft töluverða sveifluhreyfingu um undirstöðuramman sem stífa undirstöðu.

Til þess að fá betri upplýsingar um sveiflueiginleika mastursins var framkvæmd sveiflutímamæling á mastrinu þann 1. apríl 1976 með sveiflutækinu VM-1.

Grunnsveiflutími mastursins í stefnu þvert á langás undirstöðu mældist 0.88 sekúndur og var svörun mjög góð. Í stefnu samfíðalangás náðist ekki góð svörun og því erfitt að meta grunnsveiflutímann. Mastrið er eitthvað stífara í þá átt og því varlegt að áætla sveiflutímann eitthvað minni. Þar sem lægri sveiflutími veldur stærra jarðskjálftaálagi má varlega áætla sveiflutímann 0.75 sekúndur.

Samkvæmt (3) er "pseudohraði" jarðskjálfta af stærð 6.0 í báðum tilvikum sem hér segir:

$$T = 0.88, \text{ (þverátt)}, S_V(\lambda = 0.02, T = 0.88) = 22.5 \cdot 1.8 = 40.5 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$T = 0.75, \text{ (langátt)}, S_V(\lambda = 0.02, T = 0.75) \approx 40.5 \text{ cm/s.}$$

Heildarskerkraftur í mastrinu niður við undirstöðu-
rammana verður því sem hér segir:

$$V = C W = 2\pi \cdot S_V \cdot W / T \cdot g, \quad W = 37376 \text{ kp.}$$

$$V_1 = 11017 \text{ kp (þverátt)}, \quad V_2 = 12927 \text{ kp (langátt)}$$

Jarðskjálftakraftar, sem virka lárétt á mastrið verða því (sjá mynd 5):

Vægiarmar:

$$a_5 = 40.1 \text{ m}, \quad a_4 = 33.8 \text{ m}, \quad a_3 = 29.9 \text{ m}$$

$$a_2 = 11.0 \text{ m}, \quad a_1 = 4.0 \text{ m.}$$

Þungar:

$$w_5 = 6123 \text{ kp}, \quad w_4 = 9525 \text{ kp}$$

$$w_3 = 6804 \text{ kp}, \quad w_2 = 11567 \text{ kp}$$

$$w_1 = 3357 \text{ kp.}$$

$$\sum w_i a_i = 911.5819 \text{ Mpm}$$

Jarðskjálftaálag:

$$F_i = V_1(2) w_i a_i / \sum w_s a_s$$

Kraftar í þverátt:

$$F_5 = 2968 \text{ kp}$$

$$F_4 = 3891 \text{ kp}$$

$$F_3 = 2459 \text{ kp}$$

$$F_2 = 1537 \text{ kp}$$

$$F_1 = 162 \text{ kp}, \quad \sum F_i = 11017 \text{ kp}$$

Kraftar í langátt: (eins og myndi
sýnir)

$$F_5 = 3482 \text{ kp}$$

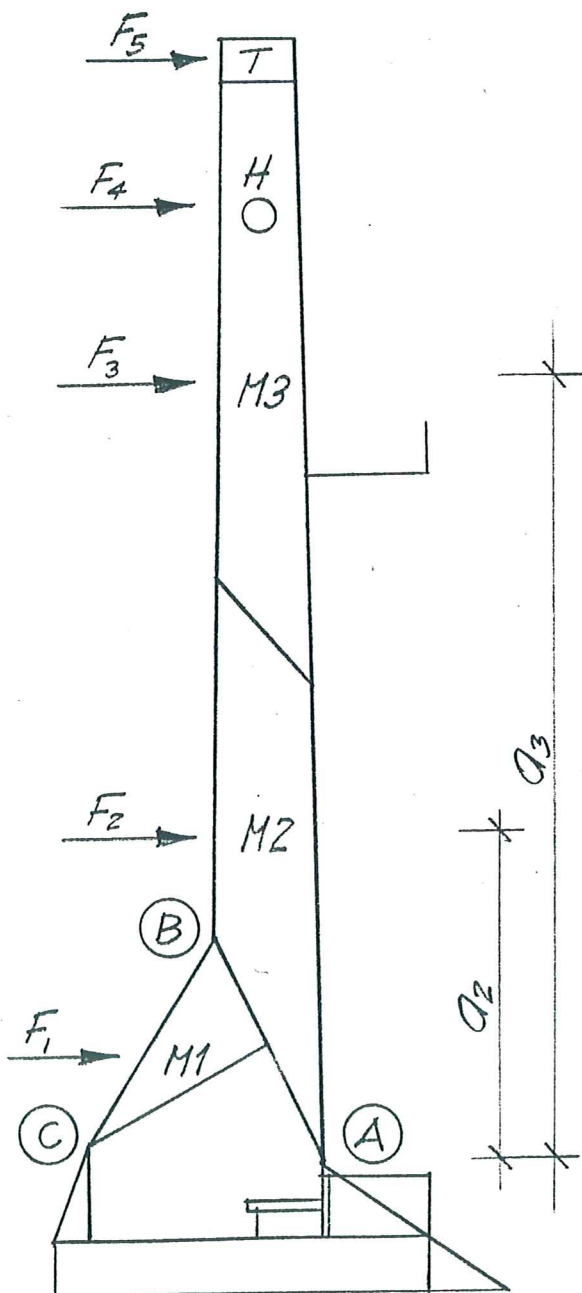
$$F_4 = 4565 \text{ kp}$$

$$F_3 = 2885 \text{ kp}$$

$$F_2 = 1804 \text{ kp}$$

$$F_1 = 190 \text{ kp}, \quad \sum F_i = 12926 \text{ kp}$$


Athuga ber, að kraftarnir geta
hvort sem er virkað í þá stefnu,
sem myndin sýnir eða þá í
mótlæga stefnu.



Mynd 5: Jarðskjálftakraftar

6.1 Styrkleiki A-ramma, langátt undirstöðu.

Fyrir þá áraun, sem sýnd er á mynd 5 fást eftirfarandi legukraftar í liðunum A, B og C. 1 merkir láréttan legukraft, en 2 merkir lóðréttan legukraft. Þess ber að geta, að í A eru raunverulega tveir liðir. Annar liðurinn, sá neðri, festir masturhluta M2 við undirstöðuramma. Hinn liðurinn festir skástöð A-ramma við undirstöðuramma. Til aðgreiningar er fyrri liðurinn merktur A', en sá hinn síðari merktur A''.

Þannig fæst: (pósitoif stefna er svona )

$$A_1' = 18.261 \text{ Mp}, A_2' = 89.750 \text{ Mp}$$

$$B_1 = -30.998 \text{ Mp}, B_2 = -55.370 \text{ Mp}$$

$$C_1 = -31.188 \text{ Mp}, C_2 = -52.370 \text{ Mp}$$

$$A_1'' = -190 \text{ Kp}, A_2'' = 357 \text{ Kp}$$

Þessir kráftar skiptast svo milli A-rammanna, sem eru tveir. Þannig verða skerkráftar í pinnum sem hér segir: (stærstu gildi)

$$A = 45.618 \text{ Mp} \left(3\frac{1}{2} \text{ pinni, } 4.16-3\frac{1}{2}-15 \right)$$

$$B = 35.65 \text{ Mp} \left(\text{margir pinnar} \right)$$

$$C = 37.12 \text{ Mp} \left(\text{pinni} \right)$$

Stangarkráftur í " Gin Pole " A-ramma verður ýmist togkráftur 31.011 Mp, eða þrýstikráftur 36.79 Mp.

6.2 Styrkleiki A-ramma, þverátt.

Í fljótu bragði virðast ekki koma stærri kráftar í " Gin Pole " stöngina en greinir frá að ofan. Kiknunar-rannsókn á þessari stöng né heldur öðrum stöngum er ekki framkvæmd að svo stöddu, þar sem ekki voru fyrir upplýsingar um þvermál og efnisgæði.

7. Lokaorð

Stöðugleikaathugun sú, sem hér hefur verið gerð sýnir, að það þarf að styrkja undirstöðu borsins, nánar tiltekið þvervængja undirstöðuramma. Er sýnt hvernig það má gera með tveim steyptum flekum.

Styrkleiki stanga í A-ramma svo og pinnafestingar þarfnast nánari athugunar.

Július Sólnes

Reykjavík 17. maí 1976 Július Sólnes

RITSKRÁ.

- (1) Gutenberg, B. & Richter, C.F. Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration (2nd Paper). Bull.Seism.Soc.Amer.46,1 105,1956.
- (2) Kanai, K., Hirano, K., Yoshizawa, S. & Asada, T: 61. Observation of Strong Earthquake Motions in Matsushiro Area. Part 1. Bull. Earthq.Res.Inst.,Univ.Tokyo.44(1966),1269-1296.
- (3) Solnes, J. Fundamentals of Dynamic Earthquake Response Analysis. Bygningsstatistiske Meddelelser.54,4,113,December 1973.

NOTATION: MASTER, making a stamp paper roll, 1:04:19 AM, 11/16:30
HRS: 50 mm/sec (paper)

Filter: 9.0 Hz, AUSTINE - VESTURE
Gain: 10 (10 bands undistorted)