



BURÐARÞOLS- OG BRUNAHÖNNUN STÁLGRINDAR

Örn Jóhannesson

Lokaverkefni í byggingartæknifræði BSc

2014

Höfundur: Örn Jóhannesson

Kennitala: 090883-5859

Leiðbeinendur: Atli Rútur Þorsteinsson og Árni Árnason

Tækni- og verkfræðideild

School of Science and Engineering

Tækni- og verkfræðideild



Heiti verkefnis:

Burðarþols- og brunahönnun stálgrindar

Námsbraut:

Byggingartæknifræði BSc

Tegund verkefnis:

Lokaverkefni í tæknifræði BSc

Önn:

Haust 2014

Námskeið:

LOK1012

Ágrip:

Þetta verkefni er lokaverkefni til BSc prófs í byggingartæknifræði við Tækni- og verkfræðideild Háskólans í Reykjavík haustið 2014. Verkefnið felst í burðarþolshönnun stálgrindarhúss með tilliti til brunahönnunar samkvæmt evrópustaðlinum Eurocode með hliðsjón af byggingarreglugerð. Hönnunin snýr meðal annars að burðarþoli og stífingu grindarvirkis, þ.e. römmum, samtengingum og hönnun bitaþversniða. Ákvörðun brunavarna byggir á einfölduðu reiknimódeli samkvæmt ÍST EN 1993-1-2. Markmið verkefnisins er að öðlast frekari þekkingu á hluta þess efnis sem nám til byggingartæknifræði grundar á. Niðurstöður útreikninga gáfu til kynna að heildarhönnun stálgrindarhússins stóðst þó deila megi um hagkvæmni brunavarna.

Höfundur:

Örn Jóhannesson

Umsjónarkennari:

Guðbrandur Steinþórsson

Leiðbeinandi:

Árni Árnason

Atli Rútur Þorsteinsson

Fyrirtæki/stofnun:

Efla verkfræðistofa

Dagsetning:

4.12 2014

Lykilorð íslensk:

Stálgrind
Burðarþol
Brunahönnun

Lykilorð ensk:

Steel structure
Fire analysis

Dreifing:

opin 

lokuð

til:

Formáli

Hluti af námi í byggingartæknifræði er stálvirkjahönnun. Eftir að hafa setið tvo áfanga í hönnun stálvirkja var ákvörðun lokaritgerðar þessarar borðliggjandi. Ákveðið var að hanna stálgrindarhús með tilliti til brunapolshönnunar.

Ég vil þakka þeim sem aðstoðuðu mig við ritgerðarsmíðina. Ég vil þakka leiðbeinendum mínum þeim Atla Rúti Þorsteinssyni og Árna Árnasyni fyrir leiðsögn varðandi brunahönnun og yfirllestur skýrslunnar. Sérstakar þakkir fær Pétur Jóhannesson fyrir sitt innlegg. Einnig vil ég þakka unnustu minni og dóttur fyrir þeirra framlag, Ólafi Marel Kjartanssyni fyrir yfirllestur og síðast en ekki sýst foreldrum mínum fyrir að bera kostnað af útprentun herlegheitanna.

Lokaverkefni þetta er alfarið samið af mér, undirrituðum. Ég vísa til alls efnis sem ég hef sótt til annarra, hvort sem um er að ræða ábendingar, efni eða orðalag. Ég ber sjálfur ábyrgð á því sem missagt kann að vera. Þetta staðfesti ég með undirskrift minni.

Kópavogur, 10.12.2014

Örn Jóhannesson

Efnisyfirlit

FORMÁLI	III
1. INNGANGUR	1
2. LÝSING BYGGINGAR	2
3. TILVÍSANIR	2
3.1 ALMENNT	2
3.2 REGLUGERÐIR	2
3.3 EVRÓPU-STADLAR.....	2
4. FORSENDUR EFNISVALS	3
4.1 STÁL	3
5. ÁLAGSGREINING BURÐARVIRKIS	3
5.1 ÁLAGSFORSENDUR.....	3
5.2 EIGINÞYNGD.....	3
5.2.1 Þakvirki.....	3
5.2.2 Milliplata	4
5.2.2.1 Val á milliplötu.....	4
5.3 VINDÁLAG.....	5
5.4 SNJÓÁLAG	6
5.5 BRUNAÁLAG	6
5.5.1 Úðakerfi.....	7
5.5.2 Brunahólfun.....	7
5.5.3 Brunamótstaða	7
6. ÁLAGSFLÉTTUR	8
6.1 Almenn.....	8
6.1.1 Brotmarksástand.....	9
6.1.2 Notmarksástand.....	9
6.1.2.1 Niðurbeygju kröfur.....	9
6.1.3 Álag á burðarvirki við bruna.....	10
7. HÖNNUN	10
7.1 ALMENNT	10
7.2 ÁKVÖRÐUN BURÐARVIRKIS.....	10
7.3 LÍFTÍMI BYGGINGAR.....	11
7.4 EFTIRLITSFLOKKUR VIÐ HÖNNUN	11
7.5 EFTIRLITSFLOKKUR Á BYGGINGARTÍMA.....	11
7.6 GRUNDUN	11
7.7 HÖNNUNARFORRIT	11
8. ÞOLHÖNNUN	12
8.1 ALMENNT	12
8.2 TÁKN.....	12
8.3 NORMALKRAFTUR.....	14
8.4 SKERKRAFTUR	14
8.5 BEYGJUVÆGI.....	15
8.6 KIKNUNARÞOL	15
8.6.1 Hlutfallsrenglur	16
8.6.1.1 Beygjuálag - vinduálag	16

8.7 HLIÐARKIKNUN.....	17
8.7.1 Samverkun normalkrafts og vægis.....	19
9. TENINGAR.....	19
9.1 ALMENNT.....	19
9.2 BITI Í BITA.....	19
9.3 SÚLUFÓTUR.....	20
9.4 STÍFINGAR.....	20
9.5 SUÐUR.....	21
10. ÞAKSPERRUR.....	21
10.1 ALMENNT.....	21
10.2 GRINDARSPERRA.....	22
10.3 HÖNNUN.....	22
11. BRUNAPÓL.....	22
11.1 ALMENNT.....	22
11.2 ÁKVÖRÐUN BRUNAVARNA.....	23
11.2.1 Hitastig stáls.....	23
11.2.2 Ásprautuð vörn.....	23
11.2.2.1 Dæmi – Eldvörn IPE 200 bita.....	24
11.3 TENINGAR.....	25
11.4 MILLIPLATA.....	25
12. NÝTING ÞVERSNIDA.....	25
12.1 VÖRUHÚS.....	25
12.1.1 Sútur – HE-260B.....	25
12.1.2 Grindarsperra.....	25
12.1.2.1 Þrýstiband HE-240B.....	25
12.1.2.2 Togband HE-260A.....	25
12.1.2.3 Kroppsútur SHS 140x5 og SHS100x5.....	25
12.1.3 Stífingarkerfi.....	26
12.1.3.1 Togbönd – CHS 88,9x5.....	26
12.1.3.2 Þrýstibönd – SHS 150x5.....	26
12.2 SKRIFSTOFU-/VERSLUNARRÝMI.....	26
12.2.1 Grindarsperra.....	26
12.2.1.1 Þrýstiband IPE-270.....	26
12.2.1.2 Togband IPE-270.....	26
12.2.1.3 Kroppsútur SHS100x6,3.....	26
12.2.2 Burðarbitar.....	26
12.2.2.1 HSQ 330x220.....	26
12.2.2.2 HSQ 270x220.....	27
12.2.3 Burðarsútur.....	27
12.2.3.1 HE-260B.....	27
12.2.3.2 SHS 200x5.....	27
12.2.4 Stífingarkerfi.....	27
12.2.4.1 Togbönd – CHS 60,3x4.....	27
12.2.4.2 Þrýstibönd – HE-160A.....	27
12.3 FESTINGAR.....	27
12.3.2 Biti í bita.....	27
12.3.3 Biti í súlu.....	27
12.3.4 Togbönd.....	28
12.3.5 Þrýstibönd.....	28
12.3.6 Súluþotur.....	28

12.4 SAMANBURÐUR.....	28
13. KOSTNAÐARMAT.....	28
13.1 ALMENNT.....	28
13.2 BYGGINGARKOSTNAÐUR.....	29
13.2.1 Reising stálgrindar.....	29
13.2.2 Brunavörn.....	29
13.3 KOSTNAÐARGREINING.....	30
14. LOKAORÐ.....	30
HEIMILDASKRÁ.....	31



1. Inngangur

Markmið verkefnisins er að öðlast frekari þekkingu á hluta þess efnis sem nám til byggingartæknifræði grundar á, s.s. að hvaða þáttum þarf að huga við hönnun mannvirkja. Tilurð verkefnisins er burðarþolshönnun stálgrindarhúss með tilliti til brunahönnunar samkvæmt evrópustaðlinum Eurocode með hliðsjón af byggingarreglugerð. Stálgrindarhúsið skiptist í tvo hluta sem afmarkast af brunahólfandi vegg. Í öðrum hlutanum er vöruhús og hinn hlutinn er hugsaður sem skrifstofu- og verslunarrými á tveimur hæðum. Hönnunin snýr meðal annars að burðarþoli og stífingu grindarvirkis, þ.e. römmum, samtengingum og hönnun bitaþversniða. Ákvörðun brunavarna byggir á einfölduðu reiknimódeli samkvæmt ÍST EN 1993-1-2. Athugun var gerð á mögulegum sparnaði við stækkun þversniðs og lágmörkun á brunavörn og gerð var kostnaðargreining fyrir afmarkaðan hluta byggingareininga.

„Men are like steel. When they lose their temper, they lose their worth.“

- *Chuck Norris*

2. Lýsing byggingar

Byggingin skiptist í tvo hluta: Lagerhúsnæði á einni hæð og skrifstofu-/verslunarrými á tveimur hæðum. Steyptur brunahólfandi veggur skiptir byggingunni. Áformuð staðsetning byggingarinnar er á Krókhálsi í Reykjavík. Burðarvirki er stálgrind sem samanstendur af burðarsúlum, grindarsperru og burðarbitum. Lagerhluti byggingarinnar er 40 metra breiður og 90 metra langur. Burðarvirki lagerhluta samanstendur af kraftsperrum sem tengjast með lið í burðarsúlur. Hafleingd á milli burðarramma er 6 metrar. Skrifstofu-/verslunarhluti byggingarinnar er 32 metra breiður og 16 metra langur, á tveimur hæðum. Neðri hæðin er fyrirhuguð sem verslunarrými og efri hæðin sem skrifstofurými. Burðarvirki skrifstofu-/verslunarrýmis, líkt og lagerhluta, samanstendur af kraftsperrum sem liðtengjast í burðarsúlur auk burðarbita undir milliþlotu. Hafleingd á milli burðarramma er 8 metrar. Stífingakerfi samanstendur af röraþversniðum sem taka upp lárétta krafta af völdum vindálags. Trapisuklæðning festist beint á þrýstiband grindarsperru og veggir klæðast með yleiningum.

3. Tilvísanir

3.1 Almennt

Staðlar og reglugerðir sem vitnað er til eru nýjustu útgáfur til dagsetningar þessarar skýrslu.

3.2 Reglugerðir

Byggingarreglugerð nr. 112/2012 ásamt áorðnum breytingum.

3.3 Evrópu-staðlar

EN 1990 Eurocode 0 Grundvallaratriði við hönnun berandi mannvirkja.

EN 1991 Eurocode 1 Álag á mannvirki.

EN 1992 Eurocode 2 Hönnun steinsteypra mannvirkja.

EN 1993 Eurocode 3 Stál-hönnunarstaðall.

EN 1994 Eurocode 4 Hönnun á samverkandi stál- og steypumannvirki.

EN 1995 Eurocode 5 Hönnun á timburvirki.

EN 1996 Eurocode 6 Hönnun á múrlausnum.

EN 1997 Eurocode 7 Jarðtæknihönnun.

EN 1998 Eurocode 8 Jarðskjálftahönnun.

EN 1999 Eurocode 9 Ál-hönnunarstaðall.

4. Forsendur efnisvals

4.1 Stál

Stálgæði þversniða og samtenginga skulu vera S275 skv. EN 1993-1-1, tafla 3.1.

Stálgæði bolta skulu vera 8.8 skv. EN 1993-1-8, tafla 3.1.

5. Álagsgreining burðarvirkis

5.1 Álagsforsendur

Álag á byggingarluta í formi eiginþunga og notþunga er ákvarðað skv. EN 1990 "Basis of structural design".

5.2 Eiginþyngd

5.2.1 Þakvirki

Þak byggingarinnar skal klætt með D-200 1,25mm trapisuklæðningu frá Tata steel. Ofan á trapisuklæðningu kemur einangrun og síðan dúkur. Uppgefin þyngd þakklæðningar, með festingum frá framleiðanda, er 0,6 kN/m².

Hönnuður ákveður eiginþyngd þakklæðningar með festingum og hugsanlegum búnaði sem hengdur er á klæðningu sem $1,0 \text{ kN/m}^2$.

5.2.2 Milliplata

Milliplata fyrir skrifstofurými fellur í notkunarflokk B skv. EN 1991-1-1, tafla 6.1. Kennigildi notálags q_k verður þá skv. EN 1991-1-1 (tafla 6.2) $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$. Miðað er við 7 cm þykkt ásteypulag með sprunguneti $g_k = 1,75 \text{ kN/m}^2$. Þykkt ásteypulags er rúmlega áætluð þar sem afréttingarmassi (flot) og steinteppi eru hluti af þykktinni. Eiginþyngd holplatna, samkvæmt upplýsingum framleiðanda, verður $0,7 * g_{\text{steinsteypa}} = 17,5 \text{ kN/m}^3$. Loftaklæðning, léttir innveggir, ljós og annar búnaður sem hengdur er á milliplötu áætlaður sem $1,0 \text{ kN/m}^2$.

5.2.2.1 Val á milliplötu

Við val á holplötu er stuðst við forhönnunargraf fyrir forsteyptar milliplötur frá Spenncon (e.d.). Áætlað notálag, Q_{plata} , samkvæmt forhönnunarkúrfu:

$$0,8 * g + p = Q_{\text{plata}} = 4,2 \text{ kN/m} \quad (1)$$

Þar sem:

- g : Eiginþyngd (án þunga frá holplötu)
- p : Notálag

Spennivídd holplötu er 8 metrar . Þá er valin holplata HD200, 8 metra löng með 5 spennivírum .

Þá verður heildar eiginþyngd milliplötu og gólfefna, G :

$$G = 6,25 \text{ kN/m}^2$$

5.3 Vindálag

Samkvæmt Þjóðarviðauka, grein 4.2, er grunnildi vindhraða $V_{b0} = 36$ m/s.

Af því leiðir að unnt er að reikna í eitt skipti fyrir öll grunnildi hraðaprýstingsins:

$$q_b = \frac{V_{b0}^2}{1600} = 0,81 \text{ kN/m}^2 \quad (2)$$

Byggingin er staðsett á Krókhálsi í Reykjavík. Umhverfi byggingarinnar telst til úthverfis með lágreistum húsum og litlu skjóli frá gróðri, Byggingin fellur því í hrýfisflokk II skv. EN-1991-1-4, tafla 4.1. Z-gildi fyrir hrýfisflokk II eru $Z_0 = 0,05$ og $Z_{\min} = 2$.

Landslagsstuðull K_r reiknast skv. EN-1994-1-4.

$$K_r = 0,19 * \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19 \quad (3)$$

Skv. EN-1991-1-4, grein 6.2, fyrir byggingar lægri en 15 m er $c_s c_d = 1$.

Hrýfisstuðull, þar sem z er hæð byggingar frá jörðu:

$$c_r(8,5) = 0,19 * \ln\left(\frac{8,5}{0,05}\right) = 0,98 \quad (4)$$

Áhrif vegna ókyrrðar (turbulence intensity):

Stuðull $C_0 = 1$, sökum sléttlendis umhverfis bygginguna:

$$I_v(8,5) = \frac{1}{\ln\left(\frac{8,5}{0,05}\right)} = 0,19 \quad (5)$$

Afhjúpunarstuðull, C_e , fæst með umritun á jöfnu 4.8:

$$C_e(8,5) = (1 + 7 * 0,19) * (0,98)^2 = 2,3 \quad (6)$$

Hágildi hraðaprýstings, q_b , fæst með umritun á jöfnu 4.9:

$$q_b = 0,81 * 2,3 = 1,89 \text{ kN/m}^2 \quad (7)$$

Sem er gildi notað til frekari útreikninga.

5.4 Snjóálag

Byggingin er, sem fyrr segir, staðsett á Krókhálsi í Reykjavík. Hæsti punktur lóðar er undir 100 metrum og fellur því byggingin undir Snjóálagssvæði 1 skv. Töflu 4.1B í ÍST EN 1991-1-3. Þá verður grunngildi snjóálags 2,1 kN/m².

Hönnuður hefur ákveðið að nota ekki lækkunarstuðul, Ψ , fyrir snjóálag eftir svæðum skv. EN-1991-1-3, tafla 4.1. Hönnuður lítur svo á að hér sé um að ræða heimild ekki skyldu.

Umhverfi byggingarinnar er gróðurlítið iðnaðarhverfi og því er affoksstuðull ákveðinn sem $C_e = 0,8$ (Windswept) skv. töflu 5.1(IS) í ÍST EN-1991-1-3. Staðsetning byggingar fellur þar undir flokk (a) "windswept". $S_0 = C_e * S_k = 1,68 \text{ kN/m}^2$

Bráðnunarstuðull $C_T = 1$, hefur því ekki áhrif á útreikninga.

Þakhalli byggingar er $\alpha = 2^\circ$. Því verður formstuðull $\mu = 0,8$ skv. EN-1991-1-3, grafi 5.1 og töflu 5.2.

Við álagsgreiningu byggingarinnar koma þrjú tilvik til álita skv. EN-1991-1-3, mynd 5.3.

5.5 Brunaálag

Byggingin skiptist í 3 brunahólf sem verða fyrir mismiklu brunaálagi. Áætlað brunaálag er fengið úr töflu 8. í bókinni "Brannteknisk dimensjonering av bygningsskonstruksjoner" (1981). Brunaálag er eftirfarandi:

- Vöruhús: 420 MJ/m².
- Skrifstofur: 570 MJ/m².
- Verslun: 570 MJ/m².

Staðallinn ÍST EN 1991-1-2, tafla E.4, gefur viðmiðunargildi brunaálags fyrir mismunandi byggingar. Í staðlinum eru gildi brunaálags stöðluð við tegund byggingarrýmis á meðan gildi úr bókinni eru miðuð við rekstur í hverju tilviki fyrir sig. Hönnuður metur það sem svo að brunaálag úr töflu 8 í "Brannteknisk dimensjonering av bygningskonstruksjoner" eigi frekar við rök að styðjast en stöðluð gildi staðalsins.

5.5.1 Úðakerfi

Lagerhluti byggingarinnar er sjálfstætt brunahólf með 3600 m² gólfleti. Í töflu 9.03 í byggingarreglugerð er gerð krafa um sjálfvirkt úðakerfi fyrir lager- og iðnaðarhúsnæði yfir 2000 m². Því er gert ráð fyrir sjálfvirku úðakerfi við ákvörðun brunamótstöðu vöruhúss.

Verslunarrými byggingarinnar er sjálfstætt brunahólf með 512 m² gólfleti. Í töflu 9.03 í byggingarreglugerð er krafa um sjálfvirkt úðakerfi fyrir verslunarrými yfir 1000 m². Því er ekki gert ráð fyrir sjálfvirku úðakerfi í verslunarhluta.

Engar kröfur umfram kröfu um hámarksstærð meginbrunahólfa án vatnsúðakerfis.

5.5.2 Brunahólfun

Lágmarks mótstaða meginbrunahólfunar er ákveðin skv. töflu 9.06 í byggingarreglugerð. Byggingin skiptist í tvö megin brunahólf, annars vegar lagerhluti og hins vegar skrifstofu-/verslunarrými. Skrifstofu-/verslunarrými skiptast upp í tvö brunahólf á hvorri hæð innan meginbrunahólfs og því má lækka þau brunahólf um einn flokk. Lágmarks mótstaða brunahólfunar verður því eftirfarandi:

- Vöruhús: EI90
- Skrifstofur: EI60
- Verslun: EI60

5.5.3 Brunamótstaða

Brunamótstaða burðarvirkis er ákveðin skv. töflu 9.11 í byggingarreglugerð. Brunaálag í öllum brunahólfum er undir 800 MJ/m². Skv. töflu 9.06 í byggingarreglugerð má lækka brunamótstöðu um einn flokk í byggingum með sjálfvirkt úðakerfi. Brunamótstaða burðarvirkis skal uppfylla eftirfarandi brunatíma:

- Vöruhús: R 60.
- Skrifstofur: R 60.
- Verslun: R 60.

Krafa um brunamótstöðu burðarvirkja í brunahólfandi skilum getur ekki verið lægri en sem leiðir af kröfum á brunahólfun viðkomandi rýmis. Af því leiðir verður brunahólfandi veggur á milli byggingarluta að uppfylla kröfu um 90 mínútna brunamótstöðu.

6. Álagsfléttur

6.1 Almennt

Samverkun álags (eða álagsfléttur) eru skilgreindar fyrir allar tegundir bygginga í ákvæði 6.4.3.2 í EC 1990. Þar eru álagsfléttur skilgreindar sem röð margföldunarstuðla fyrir mismunandi álagsform. Álagsfléttur miðast við að finna versta mögulega álag á byggingarluta í hverju tilviki fyrir sig (Gardner, 2010). Alls voru skoðuð 16 tilfelli í brotmarksástandi, sex í notmarksástandi og þrjú í óhappaástandi.

Skýringar:

- G : Eiginþyngd.
- Q : Notálag.
- S : Snjóálag.
- W : Vindálag.

Lækkunarstuðlar á álag vegna samverkunar skv. EC 1990 tafla A1.1:

γ_{Gmax}	γ_{Gmin}	γ_Q	$\Psi_{0,S}$	$\Psi_{0,W}$	$\Psi_{2,Q}$	$\Psi_{2,Q2}$
1,35	1,0	1,5	0,5	0,6	0,2	0,3

Hér eru einungis sýndar ráðandi álagsfléttur. Yfirlit yfir þær álagsfléttur sem voru skoðaðar má sjá nánar í viðauka.

6.1.1 Brotmarksástand

$ULS - 1 = G * \gamma_{Gmin} + S * \gamma_Q$: Grindarsperrur vöruhúss og skrifstofurýmis
$ULS - 2 = G * \gamma_{Gmin} + Q * \gamma_Q$: Burðarsúlur holplatna
$ULS - 3 = G * \gamma_{Gmin} + W * \gamma_Q$: Burðarsúlur, tog- og þrýstibönd
$ULS - 4 = G * \gamma_{Gmin} + W * \gamma_Q + S * \psi_{0,S}$: Gaflsúlur vöruhúss

6.1.2 Notmarksástand

$SLS-1 = \gamma_{Gmin} * (G + Q)$: Niðurbeygja burðarbita
$SLS-2 = G * \gamma_{Gmin} + \psi_{0,S} * S$: Niðurbeygja þakvirki
$SLS-3 = G * \gamma_{Gmin} + \psi_{0,W} * W$: Útbeygja

6.1.2.1 Niðurbeygju kröfur

Samkvæmt byggingarreglugerð falla vörugæmslur undir flokk B, þar sem gerðar eru eftirfarandi kröfur um svignun burðarvirkja:

- Þak/loftplötur: L/200
- Veggir (inn- og útveggir): L/200
- Bitar og berandi gólfplötur: L/300 mest 35mm.

Samkvæmt byggingarreglugerð falla skrifstofu-/verslunarrými undir flokk A, þar eru gerðar eftirfarandi kröfur um svignun burðarvirkja:

- Þak/loftplötur: L/200
- Veggir (inn- og útveggir): L/200
- Bitar og berandi gólfplötur: L/400 mest 20mm.

Þar sem L táknar haflengd byggingarhluta.

6.1.3 Álag á burðarvirki við bruna

FIRE - 1 = $G \cdot \gamma_{Gmin} + S \cdot \Psi_{2,Q}$: Tilfelli vöruhúss

FIRE - 2 = $G \cdot \gamma_{Gmin} + Q \cdot \Psi_{2,Q2}$: Tilfelli skrifstofu-/verlunarrýmis

FIRE - 3 = $G \cdot \gamma_{Gmin} + S \cdot \Psi_{2,Q2}$: Tilfelli þakvirkis skrifstofurýmis

7. Hönnun

7.1 Almennt

Burðarvirki er reiknað skv. EC 1993-1-1. Festingar eru reiknaðar skv. EC 1993-1-8.

Ákvörðun brunavarna er skv. EC 1991-1-2 og EC 1993-1-2.

7.2 Ákvörðun burðarvirkis

Við ákvörðun burðarvirkis ákvað hönnuður að notast við ramma sem er byggður upp á súluundirstöðum og liðtengdri kraftsperru. Burðarsúlur burðarramma eru af gerðinni HE260B, bæði fyrir vöruhús og skrifstofu-/verslunarrými. Undir milliplötu, fyrir miðju verslunarrýmis, eru SHS200x5 burðarsúlur sem bera HSQ330x220 burðarbita holplatna. Þversnið í einingum kraftsperru vöruhúss eru: HE240B í þrýstiband og HE260A í togband. Kroppsúlur grindarsperru eru SHS140x5 og SHS100x5. Þversnið í einingum kraftsperru skrifstofurýmis eru: IPE270 í tog- og þrýstibönd og SHS100x6,3 í kroppsúlur.

Stuðullinn $\alpha_{critical}$ reiknaður fyrir hvorn byggingarhluta fyrir sig (Viðauki A1 (5.1), B1 (5.1)):

- $\alpha_{critical} = 12,2$: Vöruhús
- $\alpha_{critical} = 15,6$: Verslunar-/skrifstofurými

Skv. EC 1993-1-1 (5.2.1(3)) er leyfilegt að fylgja reikningum fyrir fyrsta stigs greiningu (e. first order analysis) fyrir bygginguna ef eftirfarandi skilyrði eru uppfyllt:

$\alpha_{cr} \geq 10$: Fyrir elastíska greiningu

$\alpha_{cr} \geq 15$: Fyrir plastíska greiningu

Polhönnun fyrir þversnið í þversniðsflokkum 1 og 2 er á plastísku sviði stálsins. Því þarf að taka tillit til annarsstigs áhrifa (second order effect) fyrir ramma vöruhúss.

Annars stigs beygjuáhrif má reikna eftir fyrsta stigs greiningu skv. EC 1993-1-1 (5.2.2) sé lárétt álag aukið sem nemur margfeldi hækkunarstuðuls. Einnig skal "alfa critical" uppfylla $\alpha_{cr} \geq 3$.

Hækkunarstuðull á lárétt álag er reiknaður eftir jöfnu 5.4 EC1993-1-1:

$$\frac{1}{1 - \frac{1}{\alpha_{cr}}} \quad (8)$$

7.3 Líftími byggingar

Líftími byggingarinnar er ákveðinn 50 ár skv. töflu 2.1 í EN 1990 .

7.4 Eftirlitsflokkur við hönnun

Byggingin fellur í eftirlitsflokk DSL2 skv. töflu B4 í EN 1990.

7.5 Eftirlitsflokkur á byggingartíma

Byggingin fellur í eftirlitsflokk IL2 skv. töflu B5 í EN 1990.

7.6 Grundun

Grafa skal niður á fast og grundað á malarpúða að lágmarki 60 cm þykkum. Þjöppun púða skal uppfylla kröfur reglugerðar um plötupróf og þola að lágmarki 0,5 MPa þrýsting. Skriðhorn efnis skal vera 35° eða meira.

7.7 Hönnunarforrit

Notast var við "Autodesk Robot Structural Analysis" við álagsgreiningu á tvívíðum burðargrundum. Teiknivinna var unnin ýmist í "Autodesk Revit Structural" og "Autodesk AutoCad Structural detailing".

8. Polhönnun

8.1 Almennt

Polhönnun burðareininga er skv. EC 1993-1-1. Reikningar hér á eftir eru gildir fyrir þversnið úr þversniðsflokkum 1, 2, og 3. Flokkun þversniða ræðst af eiginleikum þversniðs til að taka upp þrýsting. Útreikningar eru ýmist á fjaður- eða plastísku-sviði stálsins eftir því hvaða flokki þversniðið tilheyrir. Eurocode leyfir að þversnið úr flokkum 1 og 2 megi reikna á plastísku sviði og þversnið úr þriðja flokki á fjaður sviði stálsins samanber EC 1993-1-1 (6.2.1(8),(9)):

- Flokkur 1: Plastískt
- Flokkur 2: Plastískt
- Flokkur 3: Fjaðrandi

Öll þversnið byggingarinnar falla undir flokka 1 til 3 og því verður ekki farið yfir hönnun á þversniðum sem falla í flokk 4 skv. EC 1993-1-1 (6.2.9.3).

Hlutstuðlar Eurocode fyrir stálvirki eru eftirfarandi skv. EC 1993-1-1 (6.1):

- $\gamma_{M0} = 1,0$: Viðnám þversniða úr öllum flokkum
- $\gamma_{M1} = 1,0$: Viðnám gagnvart óstöðugleika
- $\gamma_{M2} = 1,25$: Viðnám þversniðs gagnvart togi

8.2 Tákni

A:	Þversniðsflatarmál.	[mm ²]
A _v :	Skerflötur þversniðs.	[mm ²]
E:	Fjaðurstuðull Young's.	[MPa]
f _y :	Flotspenna stáls.	[MPa]
$\gamma_{M(0,1,2)}$:	Hlutstuðlar stáls.	
I:	Radíus hringsnúninga þversniðs.	[mm]



I_t :	Snúningsvægi	$[\text{mm}^4]$
I_w :	Vörpunarstuðull	$[\text{mm}^6]$
k_{yy} :	Víxlverkunarstuðull y-ás	
k_{zy} :	Víxlverkunarstuðull z-ás	
$L_{cr,LT}$:	Kiknunar lengd	$[\text{mm}]$
$M_{b,Rd}$:	Vægiþol gagnvart hliðarkiknun	$[\text{kN}\cdot\text{m}]$
$M_{c,Rd}$:	Beygjuvægiþol	$[\text{kN}\cdot\text{m}]$
M_{cr} :	Krítískt vægi gagnvart hliðarkiknun	$[\text{kN}\cdot\text{m}]$
M_{Ed} :	Hönnunargildi beygjuvægis	$[\text{kN}\cdot\text{m}]$
$N_{b,Rd}$:	Kiknunarþol gagnvart þrýstingi	$[\text{kN}]$
$N_{c,Ed}$:	Hönnunarálag fyrir þrýsting	$[\text{kN}]$
$N_{pl,Rd}$:	Plastískt viðnám gagnvart normalkrafti	$[\text{kN}]$
N_{Rd} :	Viðnám gagnvart þrýstikrafti	$[\text{kN}]$
$N_{t,Ed}$:	Hönnunarálag fyrir tog	$[\text{kN}]$
V_{Ed} :	Hönnunargildi skerkræfts	$[\text{kN}]$
$V_{pl,Rd}$:	Plastískt viðnám gagnvart skerkræfti	$[\text{kN}]$
$W_{el,Rd}$:	Elastískt mótstöðuvægi	$[\text{mm}^3]$
$W_{pl,Rd}$:	Plastískt mótstöðuvægi	$[\text{mm}^3]$
α :	Ófullkomnunarstuðull	
λ :	Hlutfallsrengla þversniðs	
X :	Lækkunarstuðull m.t.t kiknunar	
X_{LT} :	Lækkunarstuðull m.t.t hliðarkiknunar	

8.3 Normalkraftur

Normalkraftur getur annað hvort valdið togi eða þrýstingi á þversnið. Aðferðin við að reikna þol gagnvart normalkrafti er sú sama hvort heldur er fyrir tog eða þrýsting. Plastískt viðnám þversniðs gagnvart normalkrafti er fundið með eftirfarandi jöfnu:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (9)$$

Hönnunargildi normalkrafts, N_{Ed} , verður að uppfylla:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \quad (10)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (11)$$

8.4 Skerkraftur

Að því gefnu að þversnið verði ekki fyrir vindu þá reiknast plastískt skerþol þversniðs samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} \quad (12)$$

Þar sem A_v er skerflötur þversniðsins reiknaður skv. EC 1993-1-1 (6.2.6(3)).

Hönnunargildi skerkrafts V_{Ed} verður að uppfylla:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \quad (13)$$

Sé hlutfall á milli hönnunargildis skerkrafts og plastísks skerþols undir 0,5 má líta framhjá áhrifum skerkrafts á vægiþol þversniðs skv. EC 1993-1-1 (6.2.8(2)).

8.5 Beygjuvægi

Beygjuþol um annan meginás þversniðs má ákvarða með tilliti til þversniðsflokks samkvæmt eftirfarandi jöfnum:

$$M_{Rd} = \frac{W * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (14)$$

Hönnunargildi beygjuvægis, M_{Ed} , skal uppfylla:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \quad (15)$$

Fyrir beygju um báða meginása þversniðs skal reiknað skv. EC 1993-1-1 (6.2.9).

8.6 Kiknunarþol

Kiknunarþol gagnvart þrýstingi er reiknað á sama hátt fyrir þversnið í flokkum 1 – 3. Það er gert á eftirfarandi hátt:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * A * f_y}{\gamma_{M1}} \quad (16)$$

Hönnunargildi normalkrafts í þrýstingi, N_{Ed} , verður að uppfylla eftirfarandi:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \quad (17)$$

Lækkunar-stuðullinn χ :

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \rightarrow \chi \leq 1,0 \quad (18)$$

Þar sem:

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2] \quad (19)$$

- α : Ófullkomunarstuðull (EC 1993-1-1 tafla 6.1).

Ófullkomunarstuðullinn α er fenginn úr töflu 6.1 í EC 1993-1-1. Gildi α ræðst af kikkunarkúrfu þversniðs (EN 1993-1-1, tafla 6.2).

8.6.1 Hlutfallsrenglur

8.6.1.1 Beygjuálag - vinduálag

Hlutfallsrengla vegna kikkunar af völdum beygju eða vindu fyrir þversnið í flokkum 1, 2 og 3 er reiknuð á eftirfarandi hátt:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} * \frac{1}{\lambda_1} \quad (20)$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (21)$$

- L_{cr} : Kikkunarlengd í kikkunarstefnu
- i : Radíus hringsnúnings þversniðs (Radius of gyration)
- E : Fjaðurstuðull Young's
- N_{cr} : Krítískur elastískur kikkunarkraftur sem byggir á heildar þversniðseiginleikum

Fyrir elastíska kikkun skal fylgja aðferð Annex BB í EC 1993-1-1.

8.7 Hliðarkiknun

Bitapversnið sem eru ágætlega viðjuð í þrýstiflanga eru ekki viðkvæm gagnvart hliðarkiknun. Því getur verið hentugt að velja kassa- eða hringþversnið þar sem hættu getur skapast af völdum hliðarkiknunar.

Þol þversniðs gagnvart hliðarkiknun er reiknað samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * W * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (22)$$

Hönnunargildi vægis skal uppfylla:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0 \quad (23)$$

Þar sem viðeigandi gildi móttstöðuvægis W_y ákvarðast af þversniðsflokki:

- $W_y = W_{pl,y}$: Fyrir þversniðsflokka 1 og 2
- $W_y = W_{el,y}$: Fyrir þversniðsflokk 3

χ_{LT} er lækkunarstuðull m.t.t. hliðarkiknunar.

$$\chi = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} \rightarrow \chi \leq 1,0 \quad (24)$$

þar sem:

$$\phi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] \quad (25)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W * f_y}{M_{cr}}} \quad (26)$$

- α_{LT} : Ófullkomnunarstuðull (EC 1993-1-1 tafla 6.3)
- M_{cr} : Krítískt vægi gagnvart hliðarkiknun

Ófullkominarstuðullinn α_{LT} er fenginn úr töflu 6.3 í EC 1993-1-1. Gildi α_{LT} ræðst af hliðarkiknunarstærðum þversniðs (EC 1993-1-1 tafla 6.4).

M_{cr} er reiknað skv. aðferð "Tæknisk stábi" (Jensen & Olsen, 2002) og eru þeir reikningar eftirfarandi:

$$kl = \sqrt{\frac{G * I_t * L_{cr,LT}^2}{E * I_w}} \quad (27)$$

$$m = (9.22 - 4.29 * \mu) * \sqrt{1 + \left(\frac{kl}{\pi}\right)^2} \quad (28)$$

$$M_{cr} = m * \frac{E * I_z}{L_{cr,LT}^2} * (h - t_f) \quad (29)$$

Þar sem:

- I_t : Snúningsvægi [mm⁴]
- I_w : Vörpunarstuðull [mm⁶]
- $L_{cr,LT}$: Kiknunar lengd [mm].
- E : Fjaðurstuðull Young's [N/mm²]
- μ : Töflugildi miðað við randskilyrði og álagsdreifingu

Sé þversnið á mörkum hliðarkiknunar þá leifir Eurocode útreikning á hækkunarstuðlinum f skv. EC 1993-1-1 (6.3.2.3).

8.7.1 Samverkun normalkrafts og vægis

Til að tryggja að þversnið þoli samverkun normalkrafts og vægis þá er stuðst við víxlverkunarformúlu í EC 1993-1-1 (6.3.3(4)). Þar sem ekki er um neitt vægi að ræða í Z-stefnu móðels þá stytis aftasti liður þeirrar formúlunnar út og verður eftirfarandi:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{y,Rd}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \quad (30)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{z,Rd}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \quad (31)$$

- k_{yy} , k_{zy} : Víxlverkunarstuðlar reiknaðir út skv. EC 1993-1-1 Annex B

9. Tengingar

9.1 Almennt

Festingar stálgrindar eru skilgreindar sem annað hvort liðtengdar eða vægisstífar tengingar. Hvort um er að ræða lið eða vægisstífa tengingu veltur á eiginleika tengingar í að flytja vægi frá bitum í burðarsúlur (Ghosh, 2010). Að vissu marki eru allar tengingar vægisstífar og er það hlutverk hönnuðar að veða og meta hvert tilfelli fyrir sig.

9.2 Biti í bita

Tengingar tog- og þrýstibanda fyrir miðri grindarsperru eru boltaðar endaplötutengingar, skilgreindar sem vægistífaðar tengingar. Tengingar bæði tog- og þrýstibanda eru reiknaðar skv. EC 1993-1-8 tafla 6.1. Útreikningar á vægistífaðri "biti í bita" tengingu eru byggðir á athugunum á þoli tengingar gagnvart þremur hugsanlegum brotmyndum tengingarinnar. Brotmyndirnar þrjár eru athuganir á eftirfarandi:

- ✓ Brotmynd 1 – Brot í endaplötu
- ✓ Brotmynd 2 – Brot í boltum og endaplötu að hluta
- ✓ Brotmynd 3 – Brot í boltum

Farið er í gegnum brotmyndareikninga fyrir hverja boltaröð í tenginu sem liggur ofan við snúningspunkt bita. Heildar togþol endaplötu verður þá summa veikustu brotmynda boltaraða. Kraftadreifing á boltaraðir í togi verður að uppfylla skilyrði EC 1993-1-8 (6.2.7.2(9)) þess efnis að engin boltaröð má hafa sem nemur 1,9 sinnum meira vægi en næsta röð á eftir.

Mat á þrýstisvæði tengingar ræðst af eiginleikum flangs bitaþversniðs í að taka upp þrýsting.

9.3 Súlufótur

Festing burðarsúlu við undirstöðu er skilgreind sem innspennt og tekur því einungis upp normal- og skerkræft. Anker burðarsúlu samanstendur af sex 20mm snitteinum sem eru beygðir í joð í þann enda sem gengur niður í steypa undirstöðu. Stærðarákvörðun á botnplötu sem soðin er undir burðarsúlu ákvarðast af því að ekki verði skörun á milli botnplötu og burðarsúlu.

9.4 Stíflingar

Tengingar í stíflingakerfi byggingarinnar eru allar skilgreindar sem liðtengdar og hannaðar skv. EC 1993-1-8 (3). Tengingar togbanda eru hannaðar m.t.t. normalkrafts sem veldur togi í tengingu. Brotmyndir togbandstenginga eru eftirfarandi:

- ✓ Brotmynd 1 – Togþol tengiplötu
- ✓ Brotmynd 2 – Togþol á skertu þversniði tengiplötu
- ✓ Brotmynd 3 – Útrif fyrir miðri tengiplötu
- ✓ Brotmynd 4 – Útrif með hliðum tengiplötu
- ✓ Brotmynd 5 – Gatbrúnastyrkur
- ✓ Brotmynd 6 – Skerbrot bolta
- ✓ Brotmynd 7 – Slit í suðu

Tengingar þrýstibanda eru hannaðar m.t.t. normalkrafts sem veldur þrýsting í tengingu. Brotmyndir þrýstibandstenginga eru eftirfarandi:

- ✓ Brotmynd 1 – Kiknun tengiplötu
- ✓ Brotmynd 2 – Kiknun á skertu þversniði tengiplötu
- ✓ Brotmynd 3 – Skerbrot bolta
- ✓ Brotmynd 4 – Slit í suðu

Hönnun aðfellingarplötu (Gusset plate) í þessu verkefni er slík að nóg þykir að skoða brot í tengiplötum tog- og þrýstibanda.

9.5 Suður

Suður eru hannaðar skv. EC 1993-1-8 (4). Allar suður sem eru hannaðar í þessu verkefni eru ýmist lang- eða þversuður. Hönnunarþol suðu á lengdareiningu er reiknað skv. EC 1993-1-8 (4.5.3.3(3)):

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w * \gamma_{M2}} \quad (32)$$

Þar sem:

- f_u : Flotspenna stáls í togi
- β_w : Samsvörunarstuðull (e. Correlation factor)
- γ_{M2} : Hlutstuðull fyrir viðnám stáls gagnvart togi

10. Þaksperrur

10.1 Almenn

Þaksperrur, með haflengd yfir 20 m, er hægt að hanna á nokkuð ódýran hátt sem grindarbita (Gorenc, Tinyou & Syam, 2005). Hægt er að spara stál vegna þess að kroppur grindarbita samanstendur af stálprófilum sem þarfnast mun minna stáls en t.d. kroppur IPE bita. Samsetning grindarbita getur þó verið kostnaðarsöm, en litið er framhjá því vegna sparnaðar á stáli. Æskilegt hlutfall á milli haflengdar og hæðar er

7,5 til 12, sem ákvarðast af álagi hverju sinni. Ekki er æskilegt að hlutfall á milli haflengdar og hæðar fari yfir 15.

10.2 Grindarsperra

Valið er að notast við Warren-grind í þakbita, bæði í vöruhúsi og yfir skrifstofurými. Warren-grindin uppfyllir þá burðareiginleika og útlit sem hönnuður sækist eftir.

Þær einingar sem eru fyrirhugaðar í tog og þrýstibönd koma í 12,1 m löngum einingum frá söluaðila (GA smíðajárn, 2008). Verður því hver eining soðin saman á verkstæði. Grindur í vöruhús koma í tveimur 20 metra löngum einingum sem boltast saman á byggingarstað. Skv. reglugerð um stærð og þyngd ökutækja (5. gr. liður h) er leyfð hámarkslengd vagnlestar með tengivagn eða samsvarandi tengitæki 22 metrar. Því þarf hvorki fylgdarbíl né lögreglufylgd við flutning á grindarbitum. Aðrar einingar eru minni og því þarf ekki að skoða þær sérstaklega hvað varðar flutning.

10.3 Hönnun

Hæð grindarsperru er miðuð við að hlutfallið á milli haflengdar og hæðar sé á bilinu 10 til 15. Þrýstibönd í grindarsperrum vöruhúss halla upp um 2° frá undirstöðu inn að miðju. Þar er hæð sperru ákveðin.

Hæðar ákvörðun grindarsperru:

- Vöruhús: $40/14 = 2,86 \Rightarrow 2,9$ m.
- Skrifstofur: $16/12 = 1, \Rightarrow 1.35$ m.

Einingar grindarsperru eru reiknaðar sem burðarsúlur.

11. Brunapól

11.1 Almennt

Fullnægjandi brunamótstaða stálvirkis er ákvörðuð með hliðsjón af Þjóðarskjali og/eða reglugerð þess lands þar sem bygging skal rísa (Haller & Cajot, 2006). Ákvæði reglugerðar taka mið af fjölda hæða, notagildi, brunaálagi og tegund byggingar. Reglugerð gerir einnig ráð fyrir hagstæðum breytum, eins og t.d. vatnsúðakerfi. Mat á brunamótstöðu byggingareininga er byggt á annars vegar stöðluðum prófunum og

hins vegar útreikningum. Brunahönnun í þessu verkefni er eftir staðlaðri brunakúrfu skv. EN 1993-1-2, með hliðsjón af byggingarreglugerð og byggir á útreikningum fyrir óvarin stálþversnið.

Samkvæmt byggingarreglugerð, 9.9 kafli 9.9.1 gr., gilda íslenskir þolhönnunarstaðlar við hönnun á brunamótstöðu burðarvirkja. Þar er einnig kveðið á um að hönnun brunamótstöðu skuli uppfylla kröfu þess efnis að öryggi fólks, dýra, eigna og björgunaraðila sé fullnægjandi. Brunamótstaða byggingarinnar er ákvörðuð eftir stöðluðu brunuferli sbr. byggingarreglugerð, 9.9.3 gr. Útreikningar eru fyrir einfaldað reiknimódel skv. ÍST EN 1993-1-2 (4.2).

11.2 Ákvörðun brunavarna

11.2.1 Hitastig stáls

Einfaldað reiknimódel skv. ÍST EN 1993-1-2(4.2) byggir á því að hanna brunavarnarlag fyrir stök þversnið samkvæmt stöðluðu brunuferli. Krítískt hitastig stálsins er fundið út frá nýtingu þversniðs við brunaálagsfléttu. Tafla C.1 í EN 1993-1-2 gefur gildi streitu og stífleika stáls við mismunandi hitastig.

11.2.2 Ásprautuð vörn

Þegar brunavörn er sprautuð á einingu ákvarðast þykkt á einangrun eftir eiginleikum eldvarnarefnis til að hindra hitamyndun í stálinu. Þrjár algengustu hönnunarlausnir ásprautaðra brunavarna eru:

- Eldvarnarmálning
- Sementbundið ásprautulag
- Eldvarnarkvoða

Hér verður farið yfir ákvörðun á þykkt ásprautulags fyrir eldvarnarmálningu skv. ÍST EN 1993-1-2.

Einangrunar þykkt er ákvörðuð eftir töflum frá framleiðanda sem byggja á tilraunum. Þykkt eldvarnarlags er lesin úr töflu út frá krítísku hitastigi stálsins og hlutstuðli

Þversniðsins. Hlutstuðull þversniðs, A_m/V , fyrir óvarið þversnið og A_p/V fyrir varið þversnið, skal reikna skv. EN 1993-1-2 töflur 4.2, 4.3.

11.2.2.1 Dæmi – Eldvörn IPE 200 bita

Ákvörðun á þykkt eldvarnarlags fyrir IPE 200 burðarbita sem verður fyrir brunaálagi á þremur hliðum þar sem $T_{max} = 600^\circ\text{C}$ skv. EN 1993-1-2 tafla C.1. Eldvarnarlag er "Sika Unitherm" eldvarnarmálning frá Málningu hf.

Hlutstuðull IPE 200 bita:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{\text{Óvarið flatarmál þversniðs á lengdareiningu}}{\text{Rúmmál þversniðs á lengdareiningu}} = 127,5 \text{ m}^{-1} \quad (33)$$

Þykkt fundin í töflu frá framleiðanda:

Tafla 1

Section Factor up to m^{-1}	Thickness (mm) Required for a Design Temperature of								
	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	600°C	650°C	700°C	750°C
70	-	1.495	1.495	1.481	0.688	0.25	0.433	0.427	0.427
75	-	1.495	1.495	1.481	0.688	0.75	0.479	0.427	0.427
80	-	1.631	1.495	1.481	0.747	0.25	0.525	0.427	0.427
85	-	1.783	1.495	1.481	0.806	0.75	0.570	0.427	0.427
90	-	1.936	1.495	1.481	0.865	0.25	0.616	0.450	0.427
95	-	2.089	1.495	1.481	0.925	0.56	0.662	0.501	0.427
100	-	2.241	1.583	1.481	0.984	0.83	0.708	0.552	0.427
105	-	2.340	1.670	1.481	1.043	0.09	0.745	0.603	0.427
110	-	2.356	1.757	1.481	1.102	0.36	0.769	0.654	0.427
115	-	2.372	1.844	1.481	1.162	0.63	0.793	0.704	0.427
120	-	2.389	1.932	1.531	1.221	0.99	0.817	0.744	0.427
125	-	2.405	2.019	1.580	1.280	0.916	0.841	0.767	0.427
130	-	2.421	2.106	1.630	1.339	0.942	0.865	0.790	0.427
135	-	2.438	2.193	1.679	1.399	0.969	0.889	0.813	0.739

Tafla 1 sýnir að þykkt á "Sika Unitherm" eldvarnarmálningu skal vera 0,942 mm miðað við forsendur. Framleiðendur eldvarnarmálningarinnar leyfa ekki línulega brúun á milli gilda.

11.3 Tengingar

Brunavörn tenginga er ákvörðuð skv. ÍST EN 1993-1-2 gr. 4.2.1(6). Þar segir að áætla megi að brunapoli boltaðra og soðinna samtenginga sé fullnægt ef þykkt eldvarnar yfir tengingu er sú sama eða meiri en þeirra eininga sem tengingin heldur saman.

11.4 Milliplata

Milliplata uppfyllir EI90 samanber töflu frá framleiðanda. (Spenncon, Consolis - 3000, án dags.).

12. Nýting þversniða

12.1 Vöruhús

12.1.1 Súlur – HE-260B

Nýting í brotmarksástandi 50%.

Nýting við brunaálag 15% → lágmarksþykkt eldvarnar 0,427mm.

12.1.2 Grindarsperra

Niðurbeygja í notmarksástandi → 71mm.

Krafa byggingarreglugerðar → $L/200 = 200\text{mm}$.

12.1.2.1 Þrýstiband HE-240B

Nýting í brotmarksástandi 84%.

Nýting við brunaálag 34% → lágmarksþykkt eldvarnar 0,77mm.

12.1.2.2 Togband HE-260A

Nýting í brotmarksástandi 73%.

Nýting við brunaálag 29% → lágmarksþykkt eldvarnar 1,081mm.

12.1.2.3 Kroppsúlur SHS 140x5 og SHS100x5

Nýting í brotmarksástandi 91%.

Nýting við brunaálag 34% → lágmarksþykkt eldvarnar 2.258mm.

12.1.3 Stíflingarkerfi

12.1.3.1 Togbönd – CHS 88,9x5

Nýting í brotmarksástandi 64%.

12.1.3.2 Þrýstibönd – SHS 150x5

Nýting í brotmarksástandi 32%.

12.2 Skrifstofu-/verslunarrými

12.2.1 Grindarsperra

Niðurbeygja í notmarksástandi → 17mm.

Krafa byggingarreglugerðar → $L/200 = 80\text{mm}$.

12.2.1.1 Þrýstiband IPE-270

Nýting í brotmarksástandi 87%.

Nýting við brunaálag 30% → lágmarksþykkt eldvarnar 1,37mm.

12.2.1.2 Togband IPE-270

Nýting í brotmarksástandi 60%.

Nýting við brunaálag 22% → lágmarksþykkt eldvarnar 1,259mm.

12.2.1.3 Kroppsúlur SHS100x6,3

Nýting í brotmarksástandi 49%.

Nýting við brunaálag 18% → lágmarksþykkt eldvarnar 1,829mm.

12.2.2 Burðarbitar

12.2.2.1 HSQ 330x220

Nýting í brotmarksástandi 86%.

Nýting við brunaálag 62% → lágmarksþykkt eldvarnar 0,35mm.

Niðurbeygja í notmarksástandi → 12,5mm.

Krafa byggingarreglugerðar → $L/400 = 20\text{mm}$.

12.2.2.2 HSQ 270x220

Nýting í brotmarksástandi 44%.

Nýting við brunaálag 28% → lágmarksþykkt eldvarnar 0,334mm.

Niðurbeygja í notmarksástandi → 19mm.

Krafa byggingarreglugerðar → $L/400 = 20\text{mm}$.

12.2.3 Burðarsúlur

12.2.3.1 HE-260B

Nýting í brotmarksástandi 68%.

Nýting við brunaálag 37% → lágmarksþykkt eldvarnar 0,836mm.

12.2.3.2 SHS 200x5

Nýting í brotmarksástandi 90%.

Nýting við brunaálag 57% → lágmarksþykkt eldvarnar 3,281mm.

12.2.4 Stífangarkerfi

12.2.4.1 Togbönd – CHS 60,3x4

Nýting í brotmarksástandi 50%.

12.2.4.2 Þrýstibönd – HE-160A

Nýting í brotmarksástandi 56%.

12.3 Festingar

12.3.2 Biti í bita

Nýting í brotmarksástandi 86% - Tenging þrýstibanda.

Nýting í brotmarksástandi 79% - Tenging togbanda.

12.3.3 Biti í súlu

Nýting í brotmarksástandi 76% - Slit í suðu á milli klakk og flanga.

12.3.4 Togbönd

PL170x100x10 nýting í brotmarksástandi 89% - Flot í gatrönd og kantbrot.

PL320x120x15 nýting í brotmarksástandi 85% - Skerbrot bolta.

PL500x220x20 nýting í brotmarksástandi 77% - Slit í suðu.

12.3.5 Þrýstibönd

PL350x180x15 nýting í brotmarksástandi 37% - Slit í suðu.

12.3.6 Súlufótur

Nýting í brotmarksástandi 86% - Slit í suðu.

12.4 Samanburður

Samandurður á handreikningum og niðurstöðum úr tölvulíkani eru með hámarksskekkju uppá fjögur prósent. Því þykir hönnuði ekki tilefni til frekari útlistunar á þeim niðurstöðum.

13. Kostnaðarmat

13.1 Almennt

Áætlaður byggingarkostnaður á brunavörðu burðarvirki, auk kostnaðargreiningar á lágmarkun brunavarna með stækkun þversniða. Byggingarkostnaður stálgrindar er áætlaður m.v. 650 kr/kg af stáli. Kostnaður brunavarnar er m.v. listaverð á Sika Unitherm S eldvarnarmálningu frá Málningu hf. Margföldunarstuðull á efnisþykkt eldvarnarmálningar er fenginn frá rannsóknarstofu Málningar ehf.

13.2 Byggingarkostnaður

13.2.1 Reising stálgrindar

Tafla 2

Byggingarhluti	Stálmagn [tonn]	Einingarverð [kr/kg]	Byggingar kostnaður [kr]
Kraftsperrur vöruhúss	94,8	650	61.620.000,0
Kraftsperrur skrifstofu	4,2	650	2.730.000,0
Burðarsúlur	28,5	650	18.525.000,0
HSQ 330x220	5,9	650	3.835.000,0
HSQ 270x220	4,0	650	2.600.000,0
Stálplötur	5,1	650	3.315.000,0
Vindstífing	3,7	650	2.405.000,0
UPE 200	6,8	650	4.420.000,0
UPE 180	16,7	650	10.855.000,0
		Alls:	110.305.000,0

Heildar þungi stálvirkis á fermetra grunnflatar er því 41,3 kg/m².

13.2.2 Brunavörn

Tafla 3

Einingar vöruhús	Eldvarnarlag [mm]	Brunaflötur [m]	Heildar lengd [m]	Málning [kr/kg]	Stuðull	Kostnaður [kr]
HE260B	0.427	1.24	326	3454	1.8	1,073,153.88
HE240B	0.77	1.14	564	3454	1.8	3,078,006.40
HE260A	1.081	1.48	532	3454	1.8	5,291,683.73
IPE-270	1.37	0.97	92	3454	1.8	760,107.41
HSQ330x220	0.35	0.45	32	3454	1.8	31,334.69
HSQ270x220	0.334	0.35	32	3454	1.8	23,257.30
SHS140x5	2.258	0.55	290	3454	1.8	2,239,130.80
SHS100x5	2.258	0.387	647	3454	1.8	3,515,070.35
SHS100x6,3	1.83	0.384	68	3454	1.8	297,088.65
					Alls:	16,308,833.22

13.3 Kostnaðargreining

Athugun var gerð á mögulegum sparnaði við það að stækka þversnið á RHS-200x5 burðasúlum holplatna í verslunarrými og lágmarka með því þörf á eldvörn. Prófað var fyrir RHS-200x10 þversnið. Niðurstöður útreikninga leiddu í ljós mögulegan sparnað sem nemur um 13.330 kr per súlu. Nánari útlistun kostnaðargreiningar má sjá í kostnaðargreiningarkafla í viðauka C.

14. Lokaorð

Eftir að hafa farið í gegnum það ferli sem fylgir hönnun burðarvirkis með tilliti til brunavarna er mér ljóst að það er að mörgu að huga. Mikilvægt er að hafa góða yfirsýn á verkefnið og vera vel skipulagður svo vel megi fara. Hugsanlega hefði mátt besta hönnun byggingarinnar að ýmsu leyti s.s. hækka grindarsperrur, stækka þversnið kroppsúlna til að lágmarka þykkt eldvarnar eða notast við annað þversnið í burðarbita. En ég lít svo á að þetta verkefni snúi frekar að því að draga lærdóm af því sem betur má fara en að hinni fullkomnu hönnun. Að lokum met ég sem svo að það markmiði sem lagt var upp með í byrjun, þ.e öðlast frekari þekkingu á hluta þess efnis sem nám til byggingartæknifræði grundar á, hafi verið náð.

Heimildaskrá

Byggingarreglugerð nr 112/2012 (ásamt áorðnum breytingum)

EN 1990 2007: Eurocode 0: Basis of structural design (2007). European Committee for Standardization: Brussel.

EN 1993-1-1 2007: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings (2007). European Committee for Standardization: Brussel.

EN 1993-1-2 2007: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules – Structural fire design (2007). European Committee for Standardization: Brussel.

EN 1993-1-8 2007: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints (2007). European Committee for Standardization: Brussel.

GA smíðajárn. (2008). *HEB bitar*. Sótt frá GA smíðajárn: <http://www.ga.is/is/cat/heb-bitar>.

Gardner, L. (2010). *Eurocode Load Combinations for Steel Structures*. London: The British Constructional Steelwork Association.

Ghosh, K. M. (2010). *Practical Design of Steel Structures*. Dunbeath: Whittles Publishing.

Gorenc, B. Tinyou, R. & Syam, A. (2005). *Steel Designers' Handbook*. Sydney: University of New South Wales Press.

Haller, M. & Cajot, L.-G. (2006). *Fire resistance of steel structures*. Sótt frá Constructalia: http://www.constructalia.com/english/publications/fire/fire_resistance_of_steel_structures_by_ancelormittal_lcs_research_centre#.VFqsYsnsYjo.

ÍST EN 1991-1-1 2001: Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General action – Densities, self-weight, imposed loads for buildings (2001). European Committee for Standardization: Brussel.

ÍST EN 1991-1-2 2007: Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire (2007). European Committee for Standardization: Brussel.

ÍST EN 1991-1-3 2007: Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads (2007). European Committee for Standardization: Brussel.

ÍST EN 1991-1-4 2005: Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions (2007). European Committee for Standardization: Brussel.

Jensen, C. G. & Olsen, K. (2002). *Teknisk stábi*. Kaupmannahöfn: Teknisk Forlag.



Spenncon. (e.d.). *Consolis - 3000*. Sótt frá Spenncon:

<http://handbook.spenncon.e21solu.fi/Spenncon/?node=1.1.2.3>.

Spenncon. (e.d.). *Kapasiteter, bruddgrense*. Sótt frá Spenncon:

<http://handbook.spenncon.e21solu.fi/Spenncon/?node=1.1.1.2>.

Thrane, E. J. (1981). *Brannteknisk dimensjonering av bygningskonstruksjoner*. Prándheimur:
Tapir.