



Hringrásarhús – leiðarvísir til framtíðar

Útgáfa lokaskýrslu

HMS Húsnæðis- og
mannvirkjastofnun
Dagssetning Skýrslan er unnin af



Stjórnarráð Íslands
Innviðaráðuneytið



Stjórnarráð Íslands
Háskóla-, iðnaðar- og
nýsköpunarráðuneytið

Yfirlit og samþykkt af HMS



Unnið af

Niðurstöður og afrakstur verkefnisins eru eign styrkþega þegar lokaskýrsla hefur verið samþykkt. Höfundar skýrslunnar eru verkefnastjórar, Oddrún Lilja Birgisdóttir og Valdimar Jónsson og bera þau jafnframt ábyrgð á innihaldi hennar.

Þátttakandi	Framlag þátttakenda
Eik fasteignafélag Sævar Bjarnason	Þegar verkefnið hófst var verið að skoða aðkomu félagsins að verkefninu en þau voru tilbúin til að afhenda byggingu til niðurrifs sem mögulega væri hægt að endurnýta byggingarefni í verkefninu. Möguleg byggingarefni til uppvinnslu var stál, steypa og gólfhellur.
Sveitarfélagið Bláskógabyggð Kristófer Tómasson	Sveitarfélagið Bláskógabyggð, styður og tekur þátt í verkefninu Hringrásarhús-leiðarvísir til framtíðar. Sveitarfélagið Bláskógabyggð kemur að verkefninu með að veita aðgang að vinnusvæði/geymslusvæði fyrir efnissöfnun tengdu verkefninu. Sveitarfélagið Bláskógabyggð sér fyrir sér að vera í fararbroddi á landsvísu er kemur að stuðningi við verkefni á við þetta. Fellur þetta vel að innleiðingu Bláskógabyggðar á Heimsmarkmiðum Sameinuðu Þjóðanna.
Skógræktin Trausti Jóhannsson	Skógræktin styður og tekur þátt í verkefninu Hringrásarhús-leiðarvísir til framtíðar á vegum Bjarkarlækjar ehf. Þau telja að fyrirhugað samstarf muni styrkja framgang hringrásrahagkerfisins og nýsköpunar í vistvænni mannvirkjagerð á Íslandi. Skógræktin framleiðir afurðir eftir pöntun en oft verða til afgangar sem safnast á lager og fer síðan í kurl. Í verkefninu verður skoðað hvað af þeim afurðum sem eru á lager gætu nýst til byggingar húsnæðis í stað þess að fara í eingöngu í kurl. Þannig myndi verkefnið ýta undir fjölhæfari nýtingu á afurðum Skógræktarinnar.
Lendager / s.ap arkitektar Arnildur Pálmadóttir Driss M-Rin Hrefna Sigurðardóttir	Lendager er þverfaglegt fyrirtæki í mannvirkjagerð með þann yfirlýsta tilgang að færa greinina hratt í átt að sjálfbærni og hringrásarhagkerfi. Hjá stofunni er stærstu áskorunum í mannvirkjagerð samtímans breytt í tækifæri með því að skapa vel hannaðar, hagkvæmar og raunverulega sjálfbærar byggingar. Stofan hefur því algjöra sérhæfingu í hönnun út frá hráefnum sem annars hefði verið sóað, skapandi lausnum, framkvæmd og gerð prófana þannig að hönnun og útfærsla uppfylli ítrustu kröfur um gæði, endingu og öryggi.

ExaNordic
Birgir Indriðason

Burðarþolsgreining. exa nordic er ráðgjafafyrirtæki í mannvirkjahönnun sem var stofnað út frá þeirri hugsjón að efla samstarf verkfræðinga og arkitekta. Með það að leiðarljósi bjóðum við upp á burðarvirkjahönnun og verkefnastjórnun þar sem rík áhersla er lögð á upplifun notenda, notagildi, sjálfbærni og hagkvæmni í framkvæmd og rekstri. Í nánu samstarfi við arkitekta leitumst við eftir að virkja sérfræðipækkingu verkfræðinga í mótun verkefna frá fyrstu stigum. Með þeim hætti má stuðla að mannvirkjahönnun þar sem falleg byggingarlist upphefur umhverfi sitt í sátt við náttúru og á sama tíma byggir á traustum verkfræðilegum grunni. Aukaafurðir úr framleiðslu yleininga voru lagðar til verkefnisins.

Límtré Vírnet Flúðum
Gunnlaugur Örn
Gunnlaugsson

Unnið fyrir

Þetta verkefni er styrkt af Aski – mannvirkjarannsóknarsjóði. Askur er sjóður í eigu innviðaráðuneytisins og háskóla-, iðnaðar- og nýsköpunarráðuneytisins. Hlutverk Asks – mannvirkjarannsóknarsjóðs er að veita styrki til mannvirkjamála með áherslu á aukna þekkingu, umbætur og nýsköpun til að mæta samfélagslegum áskorunum á sviði mannvirkjagerðar. Dagleg umsýsla sjóðsins er í höndum Húsnæðis- og mannvirkjastofnunar. Frekari upplýsingar um sjóðinn eru á vefsíðu hans hms.is/askur

Skýrslan er unnin af verkefnastjórum sem eru eigendur skýrslunnar og bera ábyrgð á innihaldi hennar.

Efnisyfirlit

Ágrip verkefnisins	6
Lýsing á verkefninu	7
Bakgrunnur og forsaga	7
Nýsköpun og samfélagslegar áskoranir	8
Hagnýtingargildi og mikilvægi	9
Framkvæmd verkefnisins, niðurstöður og ávinningur	10
Skýrsla ExaNordic	12
Ávinningur og árangur	24
Helstu áskoranir og niðurstöður	24

Ágrip verkefnisins

Verkefnið snýst um að hanna og þróa húsbyggingar, gerðar úr endurnýttu efni sem til fellur í öflugri hringrásarkeðju. Grunnhugmyndin gengur út á að nota það efni sem ekki nýtist annars staðar og/eða hefur verið nýtt áður og getur nýst áfram í hringrásarverkefni til húsbygginga.

Lýsing á verkefninu

Flokkun verkefnis eftir áherslum úthlutunar

Byggingarefni

Lýsing á verkefninu

Byggt umhverfi er ábyrgt fyrir 40% af orkunotkun heimsins og þriðjungi CO₂-losunar á heimsvísu. Með vaxandi íbúafjölda í heiminum, sem áætlað er að fjölgi um 2,5 milljarða í þéttbýli árið 2050, og þá staðreynd að enn á eftir að byggja um það bil 60% af því byggða umhverfi sem þarf til að koma til móts við þennan vaxandi íbúafjölda, þá bíður okkur risastór áskorun að takast á við þann veruleika. Við teljum að þetta verkefni geti verið fyrsta skrefið í að sýna fram á möguleika okkar á Íslandi til að takast á við þetta risastóra verkefni. Með því að prófa verkefnið á litlum skala fyrst gerir það okkur kleift að gera tilraunir til að finna bestu lausnirnar en markmið verkefnisins er líka að hægt sé að skala verkefnið upp þannig að það hafi sýnileg áhrif á kolefnisspor mannvirkjagerðar á Íslandi. Markmið verkefnisins er þrjúþætt: 1. Uppvinnsla og þróun á byggingarefni úr úrgangi og afgangum sem falla til í nærumhverfi verkefnisins eins og að nýta gróðurhús sem standa auð og eru í niðurníðslu, afskurð af yleiningaframleiðslu Límtré Vírnets sem er með verksmiðju í nágrenninu, afgangar og afurðir sem falla til hjá Skógrækt ríkisins, en þessir aðilar eru nú þegar formlegir samstarfsaðilar verkefnisins. Loka markmið þessa hluta er að húsið verði 90% úr endurunnu/nýttu byggingarefni og hafi þau efni fengið þær vottanir sem staðlar, lög og reglugerðir krefjast. 2. Þróun og skráning á verklagi og vinnubrögðum við framkvæmdina. Á þessu stigi skapast ný þekking, nýtt verklag og nýjar lausnir við húsbyggingu. Loka markmið þessa hluta er að fagaðilar sem koma að verkefninu þrói nýjar aðferðir og efnistöð sem nýtist öðrum sem vilja byggja á þennan hátt. 3. Rafræn framsetning upplýsinga þar sem afraksturinn er vefsíða með upplýsingum um verkefnið og þá aðferðafræði sem notuð var, hvernig hægt er að nota endurunnið byggingarefni á Íslandi og nýta það sem til fellur í nærumhverfinu. Með þessu er hægt að stuðla að hugarfarsbreytingu hjá almenningi og innan byggingariðnaðarins.

Bakgrunnur og forsaga

Umsækjendur hafa mikinn áhuga á sjálfbærni og hringrásarhagkerfinu. Eftir flutning til Reykholts í Bláskógabyggð tókum við eftir að töluvert er af illa útlítandi gróðurhúsum. Við veltum fyrir okkur hvort ekki væri hægt að nýta betur það sem aðrir geta ekki lengur nýtt eða til fellur í okkar nærumhverfi. Þegar við ræddum þetta í nær samfélaginu kom í ljós mikill áhugi og samstarfsvilji um efnið. Mörg fyrirtæki eru í vandræðum með að losa sig við umfram efni og enda þau oftar en ekki í

landfyllingu. Þessu vilja umsækjendur breyta til framtíðar. Grænni byggð benti okkur á s. ap arkitekta sem hafa kunnáttu og reynslu á þessu sviði en stofan hefur nú hafið samstarf með Lendager arkitektum sem er dönsk arkitektastofa en einnig nýsköpunarfyrirtæki innan mannvirkjagerðar. Lendager sérhæfir sig í hönnun sjálfbærra bygginga og skipulags, innleiðingu hringrásarhagkerfis og nýsköpunar við endur nýtingu og vinnslu á byggingarefni í nýja vöru. Lendager hefur fest sig í sessi sem eitt mikilvægasta arkitekta- og ráðgjafarfyrirtæki sem starfar á sviði sjálfbærni í heiminum. Lendager hefur nú þegar unnið fjöldamörg verkefni byggð á þessari hugmyndafræði. Þau hafa yfir að bera yfirgripsmikla þekkingu á hringrásarhagkerfinu og möguleg tækifæri til að þróa nýjar leiðir. Lendager mun sjá um heildarhönnun verkefnisins, þróun á efnum auk LCA og LCC greiningar. Umsækjendur munu halda utan um tímalínu og fjármálin en einnig sjá að mestu um efnisöflun. Kortlagning efnisöflunar er nú þegar hafin. Límtré Vírnet mun veita aðgang að afskurði af einingarframleiðslu sinni. Skógræktin hefur opnað aðgang að öllu sem liggur á lager hjá þeim. Mikið er af gömlum og ónotuðum gróðurhúsum í misjöfnu ástandi í nágrenninu sem koma vel til greina í verkefnið. Áætlað er að nýta umfram/rangt framleitt gler frá framleiðendum eða byggingaraðilum í nærumhverfi en nú þegar hefur verkefninu áskotnast nokkuð af því.

Nýsköpun og samfélagslegar áskoranir

Verkefnið er nýnæmi þar sem aldrei áður hefur bygging verið skipulögð og hönnuð með það að markmiði að hún sé byggð, nánast að öllu leyti úr endurnýttu eða endurunnu efni samhliða því sem kolefnisspor hennar er reiknað með það að markmiði að það sé sem allra lægst. Þar af leiðandi hefur þess háttar framkvæmd aldrei verið fylgt eftir, niðurstöður skráðar og þær gerðar opinberar fyrir aðra. Það má segja að söguleg tenging verkefnisins gæti verið Ísland á þar síðustu öld þar sem torfbærir voru oft endurbyggðir eða úr efnum sem voru endurnýtt og þeir jafnvel fluttir milli landshluta en efnið í þá var lang oftast tekið úr nærumhverfinu. Önnur tilvísun er Ísland í kreppunni á fyrri hluta síðustu aldar þegar efni voru vel nýtt og endurnýtt og getum við lært ýmislegt af þeim tíma. Nú þarf að hugsa þessi mál upp á nýtt og til að geta endurnýtt efni í byggingar í nútímanum þarf að gera á þeim ýmsar prófanir, rannsóknir og jafnvel að votta öryggi þeirra. Þetta ætlum við að gera í þessu verkefni við þau efni sem við ætlum að nota. Þetta getur átt við slagveðursprófun á gleri í gluggum sem á að endurnýta, kanna möguleg eiturefni í efnum sem nota á inni, brunapól, burðarþól og jafnvel hljóðeinangrunargildi efna. Við sjáum fyrir okkur að þessar prófanir verði framkvæmdar á faglegan hátt svo að þær nýtist til framtíðar og að gögn verði útbúin sem hægt væri að nota til dæmis við endurskoðun byggingarreglugerðar í tengslum við kafla um endur nýtingu á byggingarefnum. Nýnæmi hugmyndarinnar er því mjög mikið og mun hafa áhrif á mannvirkjagerð á Íslandi auk þess sem verkefnið er nýskapandi fyrir þau fyrirtæki sem eru með í verkefninu þar sem

þau fá tækifæri til að breyta línulegum efnisleiðum í hringrásarkerfi þar sem afgangur, afskurður og úrgangur fær nýtt hlutverk.

Hagnýtingargildi og mikilvægi

Heildarhugsun og markmið með verkefninu er að hafa samfélagsleg áhrif. Allir sem að því koma brenna fyrir það að byggingariðnaðurinn þróist í átt að hringrásarhagkerfi, endur nýtingu og að minnka notkun á „virgin“ efnum/nýjum efnum. Þar af leiðandi vilja aðstandendur verkefnisins að það sé „open source“ og að niðurstöður þess og ferlið allt verði skráð og samhliða aðgengilegt öðrum sem geta nýtt sér þær upplýsingar. Þetta byggjum við á reynslu Lendager í verkefnum erlendis þar sem verkefnin hafa haft mikil áhrif á bæði almenning og innan byggingargeirans. Í sínum verkefnum hafa þeir sýnt fram á að það er bæði hægt að gera breytingar á hefðbundnum aðferðum í mannvirkjagerð og líka að það þarf ekki að vera kostnaðarsamara en núverandi aðferðir. Þetta er sérlega mikilvægt á Íslandi þar sem við þurfum að flytja nánast allt okkar byggingarefni inn. Á tímum eins og núna hafa stríð og heimsfaraldur haft þau áhrif að erfiðara er að fá efni og biðtími eftir þeim langur. Einnig hefur verkefni eins og þetta lágt orkuspor þar sem engin orka fer í framleiðslu efnanna, mjög lítil orka fer í endurhönnun og útfærslu þeirra upp á nýtt og sparast þannig mikil orka sem skiptir einnig miklu máli fyrir sjálfbært samfélag. Verkefnið í heild sinni verður lighthouse/pilot verkefni á litlum skala með það að markmiði að ýta af stað stórum breytingum í umhverfi og þróun umhverfisvænna bygginga á Íslandi. Með þessari aðferð er verið að styrkja sjálfbærnisamfélagið til framtíðar. Byggingar í niðurníðslu sem ekki hefur verið hugsað um og úrgangur sem hefur farið í urðun gætu orðið að tækifæri til endur nýtingar í nærumhverfinu þar sem byggingar eru í raun bankar af byggingarefnum sem hafa nú þegar losað kolefni. Einnig mætti hugsa sér að um allt land gæti fólk nýtt sér þá reynslu sem verður til við þetta verkefni og jafnvel þróað sínar eigin hugmyndir fyrir atvinnuskapandi verkefni.

Framkvæmd verkefnisins, niðurstöður og ávinningur

„Polinmæði þrautir vinnur allar“

Við hjónin fórum því af stað í þetta verkefni sem við teljum að verði eitt lítið mikilvægt skref í átt að hringrásarhagkerfishugsun í byggingariðnaðinum. Fljótt myndaðist faglegt teymi til að vinna verkefnið með okkur, en það hefur þó tekið mun lengri tíma en upphaflega var farið að f stað með.

Fyrstu skrefin

Eftir að hugmyndin fæddist þá hittum við fljótlega á Arnhildi Pálmadóttur arkitekt eiganda Lendager á Íslandi. Í fyrsta áfanga verkefnisins var einblínt á hönnun út frá kortlagningu af efni í nærumhverfi. Efnin sem unnið var út frá voru: ylieiningar frá LímtréVírnet á Flúðum, gróðurhús í nærumhverfi, afgangs timbur hjá Skógræktinni, gamlir gluggar og of framleiddar/pantaðar rúður. Einnig voru fyrstu drög að burðarþolshönnun sett fram. Hugmyndin sem unnið var með gekk út frá að meta hvort hægt væri að nýta stál úr eldri gróðurhúsum í burðarvirki sem ylieingunum yrði síðan raðað inn í og þá klætt að hluta með íslensku timbri. Rúður og gluggar endurnýtt í stað nýrra, en Lendager í Danmörku hefur mikla reynslu af slíkri uppvinnslu. Steypuplattar yrðu síðan sniðnir í undirstöður.



Hægt hefur verið að nálgast nægt efni til uppvinnslu/endurvinnslu á verkefnatímanum. Búið að safna saman 18 rúðum af misjöfnum stærðum og sex velux gluggum ásamt 252 lengdarmetra af ylieiningum eða 8,7 tonnum (af skurður sem kemur við framleiðslu ylieininga). Gluggarnir koma frá



stórum byggingaraðilum en þeir voru á leið í förgun. Ylieingunum var safnað yfir tvo mánuði og ætti að duga í ca 300 fermetra í uppvinnslu.

Þetta sannar það tækifæri sem liggur í uppvinnslu afgangsefna en þarna var safnað töluverðu magni á stuttum tíma sem annars fer í förgun. Lendager er með mikla þekkingu í að búa til nýtt byggingarefni eða



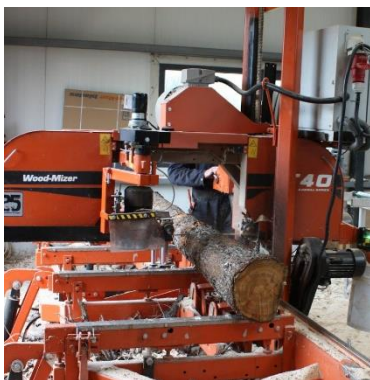
einingar úr aukaafurðum og horfum við til þeirrar reynslu í framhaldi verkefnisins. Við vorum með geymslusvæði fyrir einingarnar en þolinmæði samstarfsaðila með geymslusvæðið var liðin og samningurinn líka og því færðum við þær einingar sem við ætlum að vinna með inn á eigin lóð. Þær einingar sem við sáum ekki fyrir okkur að geta nýtt flokkuðum við í stál og einangrunarull og komum í viðeigandi ferli (förgun og endurvinnslu).

Einnig hefur verkefninu verið boðið gamalt gróðurhús úr garði nágrannans, eldra gróðurhús staðsett í nær sveitinni og gróðurhúsabygging á Selfossi.



Það sem helst hefur hindrað að hægt hafið verið að safna stáli er fyrst og fremst að verkefnahópurinn þarf tíma til að rannsaka hvort stálið sé hæft til notkunar í verkefninu, reikna burðarþol og skoða gæði. Eigendur þeirra bygginga sem okkur hefur verið boðið hafa ekki haft þolinmæði eða tíma til að bíða með að losna við byggingarnar af sínum svæðum og því tekið þau niður til förgunar eða komið þeim áfram í annað ferli.

Hægt hefur verið að nálgast steypustykki frá nokkrum stærri fyrirtækjum sem myndu henta í undirstöður. Ekki er vitað hverju sinni hvaða steypustykki er tiltæk og því kemur í ljós þegar verkefnið er komið lengra í ferlinu hvað verður í boði á þeim tíma og unnið út frá því. Þegar steypustykki eru tiltæk þá þarf að ákveða fljótt hvort eigi að nýta þau og sækja en annars fara þau í viðeigandi förgunarferli.



Hjá Skógræktinni er mikill vilji til nýtingar á afgangstimbri í klæðningar og annað en einnig að nýta íslenskt timbur í burðarvirki. Hjá Skógræktinni fer mikið í kurl, eldivið, girðingastaura, en þar er mjög framsýnt og áhugasamt fólk sem sérsníðir og sagar eftir þörfum viðskiptavina sinna og því til mikils að vinna að efla notkun íslenska timbursins í stað innflutnings. Verkefnahópurinn var svo heppin að kynnast Eiríki Þorsteinssyni hjá Trétækniráðgjöf en hann bauðst til að fara með hópinn í vettvangsferð til að kynnast betur því sem væri í gangi varðandi íslenskt timbur sem varð til þess að farið var að skoða þann möguleika á að nota íslenskt timbur í hluta burðarvirkis.

Stór hluti verkefnisins að þessu sinni var unnin af þátttakendum teymisins hjá ExaNordic vegna hönnunar burðarvirkis. Fundað var reglulega með öllu teyminu um helstu niðurstöður, flækjustig og næstu skref og einnig farið í vettvangsferðir. Hér má sjá skýrsluna frá þeirri vinnu:

Inngangur Forsaga

Árið (2019) fengu Valdimar Jónsson og Oddrún Lilja Birgisdóttir þá hugmynd að reisa gistihús á lóð sinni í Reykholti í Biskupstungum sem væri alfarið unnið úr endurnýjanlegum byggingarefnum. Um gróðurmikla lóð er að ræða en þar yrðu byggðar þrjár gistieiningar inni í einskonar gróðurhúsi sem myndi nýtast sem sameiginlegt rými á veturna. Hugmyndin var að nota gróðurhúsaeiningar af svæðinu, afgangsl-einingar frá Límtré Vírnet á Flúðum, gallaðar gluggaeiningar úr framleiðslu af svæðinu, gluggaeiningar sem hefur verið safnað af eigendum, niður sagaðar einingar úr endurunni steypu í undirstöður og endurnýtt burðarvirki úr annað hvort stáli eða steypu.

Þetta er framsækin og spennandi hugmynd og krefst óhefðbundinnar nálgunnar hjá hönnuðum en ExaNordic var fengið til að sjá um burðarþolshluta verkefnisins árið 2023. ExaNordic lagði til að reisa burðargrindina úr stáli sem gæti leyst mörg vandamál varðandi afstífangu hússins fyrir lárétta álagi, það er vindálagi og jarðaskjálftaálagi. Þá hófst leit að stáli sem nýta mætti í burðarvirkið en það reyndist erfitt að finna upplýsingar um það stál sem bauðst verkefninu. Þá kom aftur upp hugmynd sem hafði verið rædd í upphafi verkefnis að nýta íslenskt timbur í burðarvirkið. Fjallað verður um báða kosti í þessari skýrslu ásamt möguleikum á undirstöðum fyrir grind hússins.

Lærdómur og skoðunarferðir

Stál úr burðarvirki Blómavals á Selfossi bauðst þegar taka átti niður gróðurhús sem verslunin var í en stálið virkaði í góðu ástandi. Hins vegar var ekki hægt að finna upplýsingar um efnisgæði stálsins,

hvorki á teikningum né hjá Byggingafulltrúa á Selfossi. Efnisgæði burðarvirkis er ein af grunnforsendum mannvirkjahönnunar og *Vegvísir að mótun rannsóknarumhverfi mannvirkjagerðar* frá HMS mælir til þess að efnisgæði þurfi að vera þekkt. Þannig að ef byggja á úr endurunnum byggingarefnum, sem engar upplýsingar eru til um, þarf að vera til eitthvað ferli sem staðfestir efnisgæðin. Á endanum var stál gróðurhússins selt annað og aðrir möguleikar í verkefninu skoðaðir nánar. Umræðan snerist þá að því að nýta íslenskt timbur sem fellur frá við grisjun skóga á svæðinu í burðarvirkið. Asparhúsið í Vallanesi var þar fyrirmynd enda reist alfarið úr íslenskum viði. Haft var samband við eigendur þess og í ljós kom að Eiríkur Þorsteinsson trétæknir hafði komið að því að flokka og meta timbrið sem burðarvið. Farið var í vettvangsferð með Eiríki í þrjár skógræktir þar sem aðstæður og vinnsla á íslensku timbri voru skoðaðar. Farið var í Skógræktarfélag Reykjavíkur í Heiðmörk, Snæfoksstaði í Grímsnesi og Skógræktarfélags í Þjórsárdal. Í ljós kom að oft fellur til fínasta byggingarefni við grisjun skóga. Þetta timbur hefur þó ekki verið flokkað sem burðarviður í miklum mæli en Eiríkur gæti hjálpað við að flokka slíkt timbur og meta hvort það sé hæft fyrir burðarvirki. Einnig kom í ljós að Eiríkur vinnur að verkefni ásamt fleirum sem kemur að því að fá vottun á íslenskt timbur sem burðarvið.

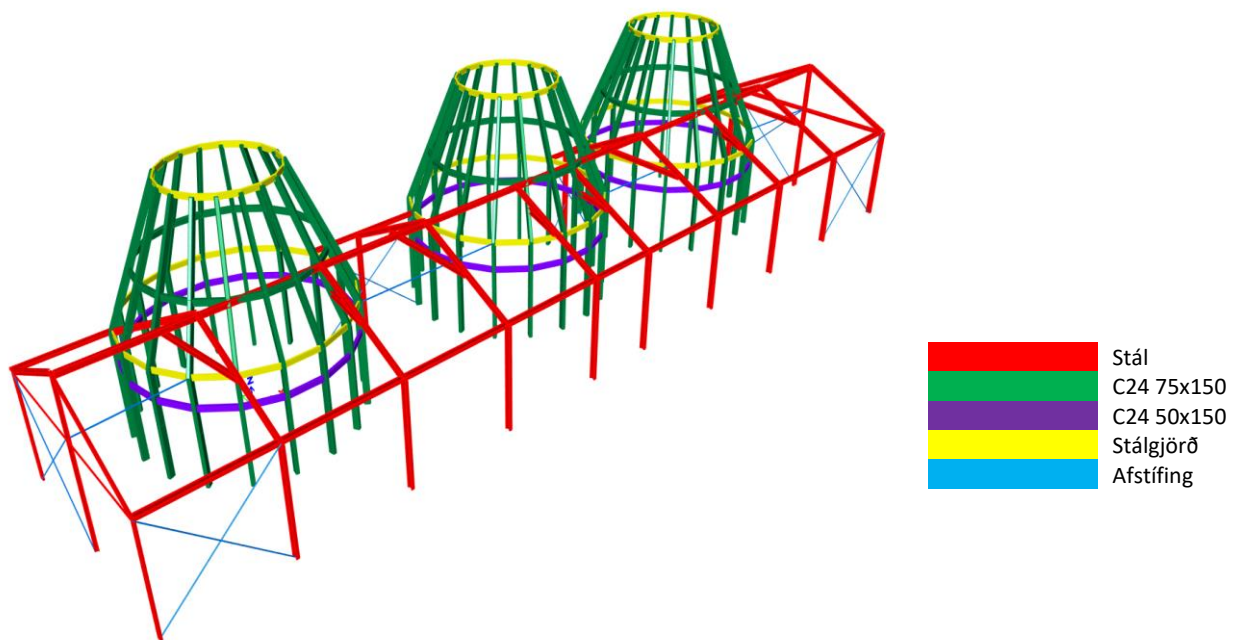
Stál

Burðarkerfi

Burðarþolslíkans var gert í samræmi við grunnmyndir frá Lendager með nokkrum einföldunum á útliti og formi. Þar má nefna að sameiginlegt rými var gert ferhyrningslaga með hliðarlengdir í samræmi við teikningar og þök gistirýmanna voru höfð flöt í stað þess að hafa þakhalla og önnur óregla í form þeirra var einfölduð.

Hönnun stálútfærslu burðarvirkisins byggir á því að stálgrindin sé sjálfberandi og sjái um allt stífikerfi hússins. Yl-einingar yrðu því einungis notaðar sem klæðning en ekki afstíving. Vindálag er ríkjandi álag á mannvirkið og er húsið hannað út frá því ásamt lóðréttu álagi sem samanstendur af eiginþyngd burðarvirkis, eiginþyngd innri og ytri frágangs og snjóálagi.

Burðarkerfi sameiginlegs rýmis samanstendur af stálstoðum í útveggjum ásamt stálþaksperrum og skástífum sem taka upp lárétta og lóðréttu krafta frá þaksperrum í gegnum tog og þrýsting. Í burðarkerfi gistieininganna myndu stálstoðir taka upp lárétta krafta og sjá um stífikerfi hússins. Form gistieininganna hjálpar til við að stífa þær af. Áhrif vindálags á hringlaga gistieiningarnar voru könnuð fyrir stakar gistieiningar sem og mannvirkið í heild sinni. Hönnun burðareininga í gistirýmum á bæði við um timbur og stál nema að fyrir timbur er þörf á yl-einingum fyrir afstívingu ásamt stálgjörðum til að uppfylla formbreytingarkröfur Byggingarreglugerðar. Burðarþolslíkanið má sjá á Mynd 1. Möguleiki er á að hafa burðarvirkið alfarið úr stáli eða hægt er að skoða að blanda



Mynd 1: Möguleg útfærsla á burðarvirki með stálgrind í sameiginlegu rými.

byggingarefnum saman, t.d. að gróðurhúsið (sameiginlega rýmið) sé úr stáli en gistieiningarnar úr timbri og yl-einingum eins og sýnt er á Mynd 1.

Efniseiginleikar og prófanir

Endurnýting stáls í burðarvirki hefur í för með sér ýmis atriði sem huga þarf að en þar má nefna ryðvarnir, sögun eininga, styrkprófanir og umhverfisaðstæður.

Notað stál þarf ryðhrensa og meta hversu mikið þversniðið hafi rýrnað vegna ryðs. Skoða þarf svo hvernig ryðvörnum sé háttað eftir hreinsun. Eftir umhverfisaðstæðum sem nota á stálið áfram kanna að vera þörf á að gera úrbætur á ryðvörnum á stálinu. Í sumum tilfellum gæti verið æskilegt að heitsinkhúða (heitgalvanísera) stálið. Því fylgir flutningar en slík vinnsla á Íslandi er einungis gerð á Akureyri í dag. Einnig er spurning með umhverfisþáttinn á þeirri framkvæmd, erum við að fara á skjön við hugmyndafræði verkefnisins. Ekki verður nánar farið út í það hér en við teljum að sá þáttur sé ekki mikill í samanburði við það að kaupa nýtt stál, sem væri svo alltaf galvaníserað líka ef aðstæður krefjast þess. Í sumum tilfellum er nægjanlegt að lagfæra ryðvarnir staðbundið með málningarkerfi. Þar sem stál kemur til með að standa í þurru, upphituðu umhverfi er jafnvel ekki þörf á frekari ryðvörnum. Þar sem endurnýtta stálið er ekki hannað fyrir tiltekna byggingu er líklegt að erfitt verði að finna stálprófila af stærð sem passar beint í verkið og því líklegt að þeir verði íburðarmeiri en þörf krefur. Sé það staðan er mögulegt að sleppa frekari ryðvörnum og sýna fram á að burðarþol sé áfram ásættanlegt þó stálhlutur haldi áfram að ryðga yfir líftíma mannvirkisins. Þetta getur hönnuður lagt mat á miðað við umhverfisaðstæður hverju sinni. Ryðguðu stáli fylgir stáli fylgir gjarnan óþrifnaður eins og ryðtaumar á gólfi og gluggum sérstaklega ef stálið er í snertingu við raka. En það er eitthvað sem verkkaupi hverju sinni þarf bara að vera meðvitaður um.

Eins og áður kom fram þurfa efnisgæði og suðuhæfi á stálinu sem nota skal að liggja fyrir. Annars þarf að meta eiginleika stálsins með prófunum. Í flestum tilvikum væri nægjanlegt að framkvæma togþolspróf á stálinu. Þá eru tekin sýni, eitt eða fleiri, og þau unnin og metin á rannsóknarstofu. Fjöldi sýna þarf að meta eftir umfangi og flækjustigi verkefnisins. Einnig ber að nefna að þar sem stálið er nýtt á jarðskjálftasvæði getur seigja stálsins einnig skipt máli. Mat á seigjunni er einnig hægt að fá úr umræddu togþoli. Hægt er að hanna stálið þannig að það nái aldrei flotstyrk við jarðskjálftaálag og þá reynir minna á þann þátt, en þó er ekki mælt með því að nota stökkt stál á jarðskjálftasvæðum.

Prófilstærðir stáls sem á að endurnýta þarf einnig að mæla nákvæmlega upp og finna þarf út hvort um er að ræða staðlaðar stærðir og hvernig vinnsla prófíllanna var. Staðlaðar prófilstærðir geta gefið vísbendingar um lágmarksefniseiginleika stálsins. Leggja þarf mat á hvort prófíllarnir hafi verið soðnir saman, heit-, eða kaldvalsaðir. Þetta hefur áhrif á típu þversniðs prófíllanna. Þær típur sem eru flokkaðar lágt hafa minni nýtingarmöguleika eða þurfa að vera efnismeiri.

Kostir og gallar

Notkun stáls í verkefninu hefur ýmsa kosti yfir notkun timburs en þar má nefna sveigjanleika á staðsetningu meginburðarvirkis. Þetta er sérstaklega mikilvægt þar sem hugmyndin er að nota einingar með framleiðslugalla eða einingar sem hafa fallið til hjá fyrirtækjum á svæðinu. Burðarvirkið þarf því að geta aðlagast ólíkum stærðum og lögunum á sem auðveldastan hátt, gluggaeiningar gætu til dæmis ráðið ýmsu um haflengdir og bil á milli stoða. Með notkun stáls getur bil milli stoða og sperra verið talsvert meira en ef um timburstoðir og timbursperrur væri að ræða. Efnismagn yrði því minna með stáli í burðarvirki.

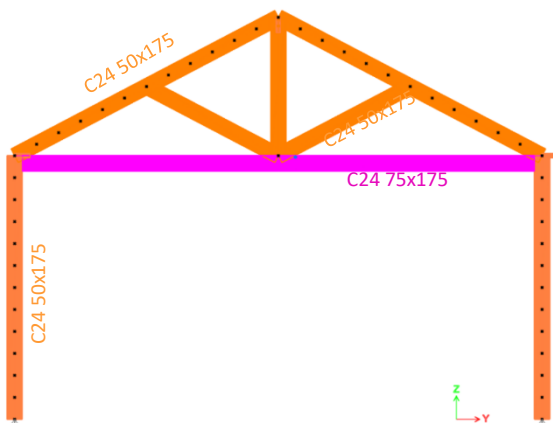
Ókostir endurnýttis stáls eru helst þeir óvissuþættir sem nefndir eru í fyrri kafla. Ástand stáls sem þarf að endurnýta og óvissa með efnisgæði. Skoða þarf ryðvarnir eftir í hvaða aðstæðum á að nýta stálið.

Heitsinkhúðun gæti verið æskileg og skoða þarf svo betur hvort það sé í takt við hugmyndafræði verkefnisins.

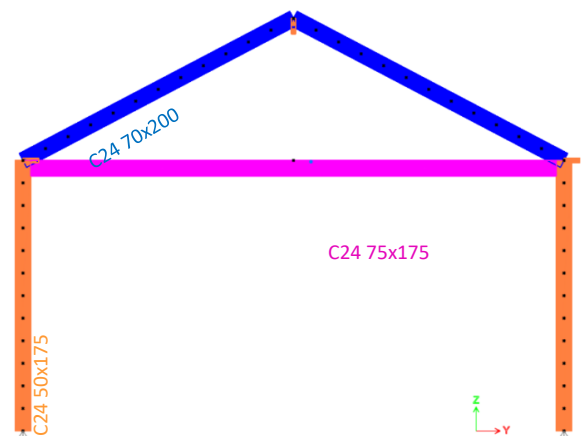
Timbur

Burðarkerfi

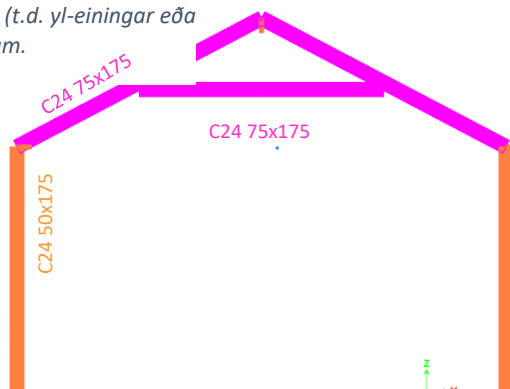
Útfærsla burðarkerfisins úr timbri byggir á sömu forsendum og stálútfærslan hvað varðar álag, uppbyggingu og einfaldanir burðarkerfis við líkanagerð. Þversniðsstærðir miðast við sitkagreni með timburstyrk C24 og einum metra á milli stoða í sameiginlegu rými en þetta á eftir að samræma með arkitekt og verkkaupa. Miðað er við sitkagreni þar sem það er algeng tegund í skógræktum svæðisins og hefur efniseiginleika sem gætu hentað í burðarvið. Ástæðan fyrir þéttni bili á milli stoða er sú að hæð þversniðs timburstoða er takmarkandi þáttur og formbreytingarkröfur byggingarreglugerðar eru stífar. Stífa þarf af þak og veggj í sameiginlegu rými og gistieiningum en gert er ráð fyrir að yl-einingar verði notaðar til þess í gistirýmum, stálkrossar í öðrum veggjum (t.d. úr gataböndum) og einhverskonar þakstífur hvort sem þær eru úr stáli, yl-einingum eða jafnvel krossviði. Tryggja þarf að traustar festingar séu á milli yl-eininga og stoða sökum hás vindálags en það er sérstaklega mikilvægt atriði þar sem nota á afsagaðar einingar sem falla af við framleiðslu. Í sameiginlega rýminu er möguleiki að stífa þakfleti í þakplani eða í láréttu plani yfir veggjum. Sjá má nokkrar útfærslur á afstíflu þaks á eftirfarandi myndum. Miðað var við lágmörkun timburmagns og þá sérstaklega hæð þversniða þar sem það er takmarkandi þáttur hjá flestum skógræktum landsins.



Mynd 2: Uppbygging burðarvirkis í þaki og veggjum. Þakfletir stífaðir í þakplani með afstífandi einingum (t.d. yl-einingar eða krossviður) eða í láréttu plani með stálstífum.

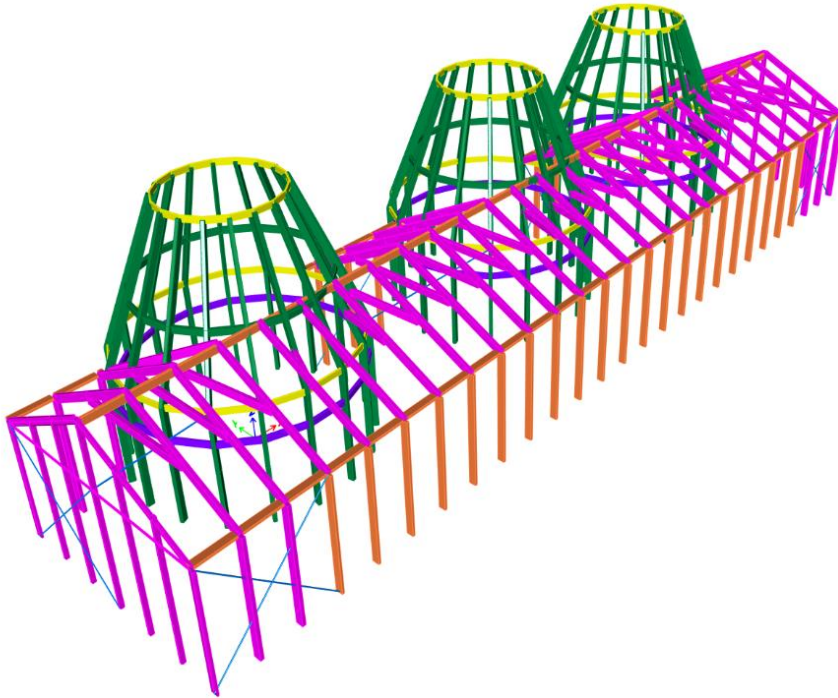


Mynd 3: Uppbygging burðarvirkis í þaki og veggjum. Þakfletir stífaðir í láréttu plani með stálstífum.



Mynd 4: Uppbygging burðarvirkis í þaki og veggjum. Þakfletir stífaðir í plani þeirra með t.d. yl-einingum ásamt láréttum stuðningi.

Tryggja þarf að formbreytingar í gistirýmum uppfylli kröfur Byggingarreglugerðar en því er náð fram með því að stífa af skilfleti á milli þaks og veggja og hringinn í kringum þakluggann með stálgjörð. Burðarþolslíkanið má sjá á mynd 2.



Mynd 5: Möguleg útfærsla á burðarvirki úr timbri. Hér þarf að hafa styttra á milli stoða burðarvirkis heldur en í stálvirkinu

Efniseiginleikar og flokkun

Flokkun á íslensku timbri í burðarvirki hefur ekki verið samþykkt samkvæmt íslensku regluverki. Fylgja þarf reglugerðum í verkefninu svo ákveðin óvissa liggur í því hvort og hvenær þessi kostur sé raunhæfur. Hins vegar eru til dæmi um að hús hafi verið reist með burðarvið úr íslensku timbri og því sjáum við ekkert því til fyrirstöðu að matsmaður flokki timbrið. Flokkunarleiðbeiningar hafa verið gefnar út á Íslandi, en Eiríkur Þorsteinsson hjá Trétækniráðgjöf slf. hefur reynslu af slíkri flokkun. Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins hefur gefið út upplýsingablöð um flokkunarkerfi og styrkflokka timburs. Flokkunin byggir á því að timbureiningum er úthlutaður styrkflokkur út frá greiningu á ýmsum eiginleikum sem tengjast kvistum, göllum, sprungum og aflögun á timbrinu. Meta þarf kvisti eftir tegund, fjölda, stærðar og staðsetningar þeirra svo eitthvað sé nefnt. Þessi greining á timbrinu hefur svo í för með sér að timbrið geti samsvarað ákveðnum burðarflokki sem notaður er við hönnun. Einnig má nefna að spenna getur verið í trjábolnum sem gerir það að verkum að þegar þeir eru sagaðir niður þá getur komið vindingur eða beygja á timburbitana. Þetta getur líka haft áhrif á flokkun timbursins.

	C24 50x175
	C24 75x175
	C24 75x150
	C24 50x150
	Stálgjörð
	Afstífing

Notkun á timbri í burðarvirkið getur kallað á stórar þversniðsstærðir sem getur verið erfitt að finna hérlandis. Þetta er vegna þess að trén eru enn þá mjög ung og trjábolirnir ekki náð þeirri stærð sem þarf til að saga úr þeim stærri þversniðsstærðir. Því var leitast við að halda hæðum þversniða undir

150 mm. Sökum haflengda í sameiginlega rýminu var nauðsynlegt að nota þversniðsstærðir upp 175 mm hæð þar en þetta er hægt að skoða frekar og besta þegar frekari hönnun heldur áfram. Leiðir til að minnka þversniðstærðir eru að stytta höf, minnka lofthæðir og þétta á milli stoða og bita. Í þessu verkefni hefur verið reiknað með 1m á milli stoða.

Kostir og gallar

Timbur er efnislétt byggingarefni sem hefur í för með sér ýmsa kosti. Jarðskjálftakraftar magnast upp við hækkandi massa burðareininga og eru timburmannvirki því hentug þar sem slíkt á við. Einnig getur flutningur á verkstað sem og framkvæmd timburmannvirkja verið hagkvæm og þægileg. Að lokum má nefna að rannsóknarvinnan á íslenskum burðarvið, notkun þess og takmarkanir, eru verðmætur vegvísir fyrir önnur verkefni í framtíðinni.

Ókostir timbursins í samanburði við stálið er að formbreytingarkröfur byggingarreglugerðar geta haft þvingandi áhrif á burðarvirkið og krafist þess að það þurfi að vera mun efnismeira en ella vegna þess að hæð þversniða er takmarkandi þáttur. Afstífung timburvirkisins með yl-einingum og/eða öðrum einingum er einnig ferli sem huga þarf vel að en með nýtingu stáls þarf ekki að reiða sig á slíka afstífungu. Einnig hentar timbur ekki vel í rakamettuðu umhverfi, t.d eru óupphituð gróðurhús verið með hátt rakastig. Hugsa þarf að þessum atriðum við hönnun.

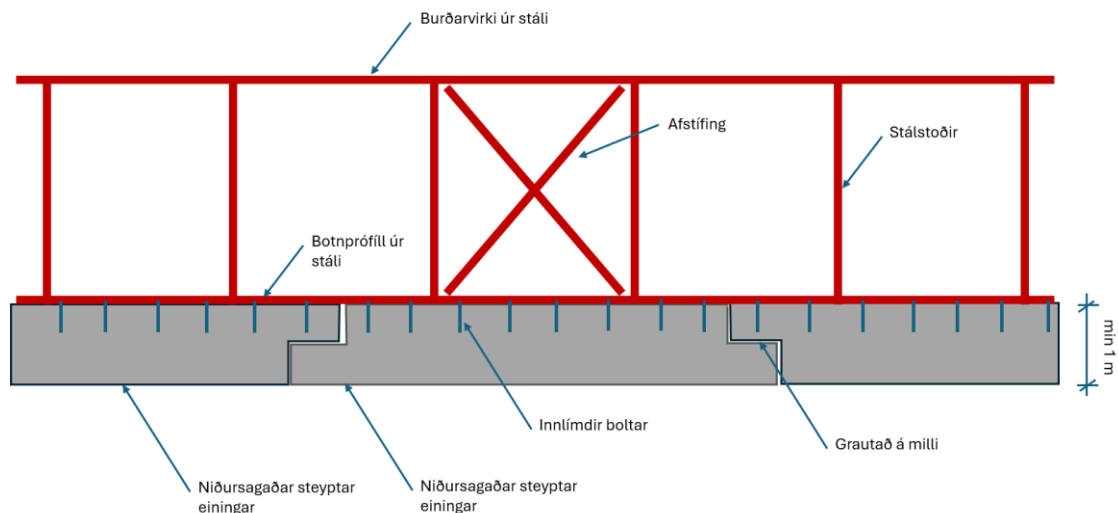
Undirstöður

Endurnýttar steypar einingar

Hugsunin er að nálgast steypa hnalla sem falla til hjá verktökum eða stofnunum. Hægt væri að saga þá niður í búta og raða upp undir útveggjum hússins. Notkun þeirra veltur á stærð og ásigkomulagi eininganna en huga þarf að kraftadreifingu, sögun og uppröðun.

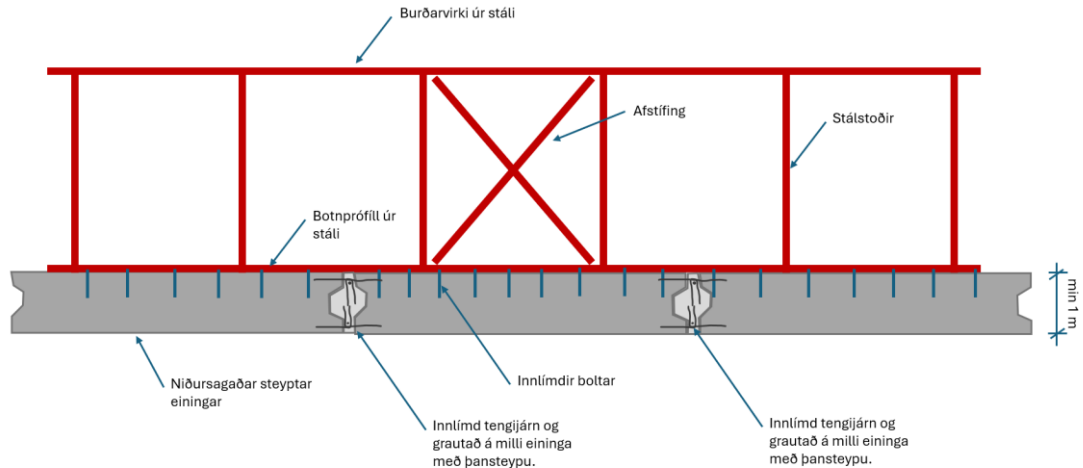
Undirstöðukerfi

Vindálag gerir það að verkum að upplýftikraftar geta komið í súlur mannvirkisins og því þurfa undirstöður að vera með nógu mikinn massa til að halda húsinu stöðugu. Talsvert álag er á undirstöður þar sem skástífum er komið fyrir vegna samþjöppun krafta þar. Til þess að vinna gegn þessu má auka samvirkni steyptra eininga með tengingu milli hnalla á einhvern hátt. Koma má fyrir botnprófíl úr stáli ofan á undirstöður sem er boltaður niður með innlímdum boltum en það tryggir að undirstöður færist ekki úr stað. Einnig þarf að huga að því að undirstöðurnar geti flutt skerkrafta á milli sín, sérstaklega nálægt afstífandi einingum. Nokkrar útfærslur á því eru mögulegar en á

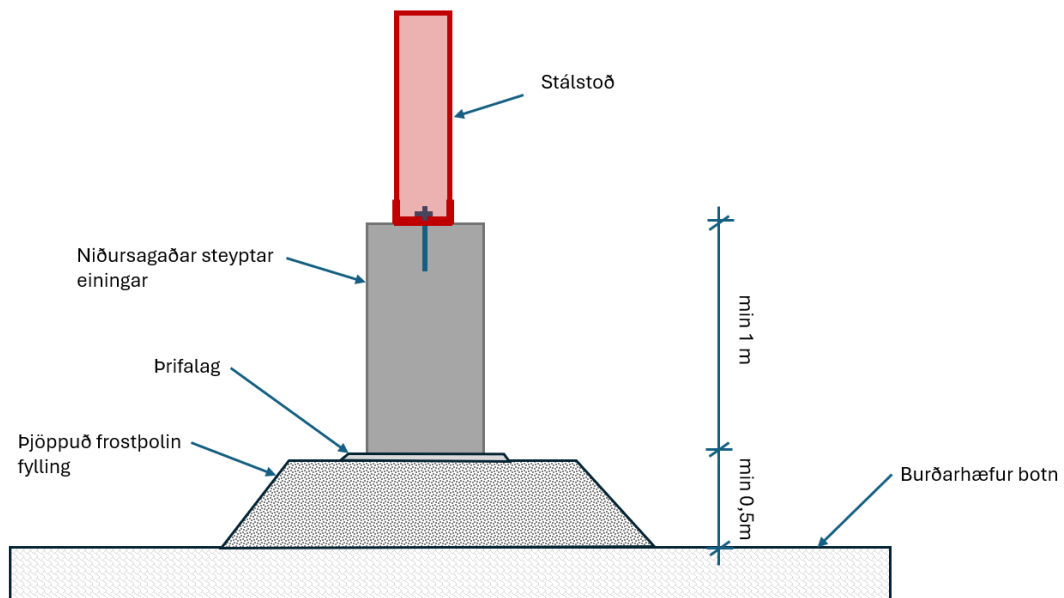


eftirfarandi skýringarmyndum má sjá tvær útfærslur ásamt skýringartexta.

Mynd 6: Niðursagaðar steypar einingar raðaðar upp þannig að lás sé sitthvorum megin við afstífingu burðarvirkis. Lásinn þarf að vera staðsettur þannig að hann grípi undir aðliggjandi einingu til þess að dreifa kröftum frá afstífingu. Tryggja þarf að hægt sé að hella þansteypu í lásinn svo að einingarnar liggi þétt saman.



Mynd 7: Steypar einingar sagaðar þannig að skerlás myndist þegar þansteypu er hellt í hann. Innlimdum járnum er komið fyrir í skerlás ef þörf er á. Þetta er hugsað svo tengingin geti flutt vægi auk skerkræfta. Kostur við þessa útfærslu yfir þá fyrrnefndu er að uppröðun eininga er einfaldari og tengingin getur flutt skerkræfta úr báðum áttum.



Mynd 8: Þversnið af undirstöðu. Hugsunin er að moka niður á burðarhæfan botn sem nær undir frostdýpt. Undir sökkli er því þjöppuð hálf meters frostþolin fylling. Þunnu þrífalagi er komið undir sökkul til að minnka hættuna á því að steypar einingar verði skakkar. Stærðir undirstaðna hafa ekki verið reiknaðar út en þær fara eftir því hvaða efniviður er fánlegur og hvernig kraftadreifingu byggingarinnar er.

Ósvaraðar spurningar

Stærðir, ásigkomulag og magn hnalla liggur ekki fyrir. Óvíst er hvernig uppröðun og sögun eininga verður háttað en það veltur alfarið á þeim efnivið sem fánlegur er og því erfitt að meta þau atriði eins og er. Það á eftir að athuga staðsetningu burðarhæfs botns undir jarðvegsyfirborði svo ekki er hægt að ákvarða magn fyllingar í bili.

Niðurstöður og næstu skref

Næstu skref eru að athuga hvers konar efni eru aðgengileg til þess að nýta í verkefnið og í hvaða magni, það er stál og timbur í burðarvirki og steypa hnalla í undirstöður. Magn timburs í burðarvirki

er mikið en skoða þarf hvort og hvernig skynsamlegt sé að nýta það þegar aðgengilegt timburmagn liggur fyrir. Kostir stáls eru mikilvægir fyrir þær kröfur sem fylgja verkefninu. Stálið er töluvert sterkara og stífara en timbur og því gæti reynst auðveldara að aðlaga burðarvirkið að þeim margbreytileika sem hús úr endurunnum efnum kallar á. Timbrið er líka mjög sveigjanlegt og þægilegur kostur sérstaklega í gistirýmum, en sökum takmarkana á þversniðstærðum er sveigjanleikinn í „gróðurhúsi“ minni, þ.e. erfitt er að hafa bil á milli stoða meira en reiknað hefur verið með. Ekki má útiloka þann kost að bæði stál og timbur verði nýtt í verkefninu og þá gæti komið til greina að til dæmis gistirýmið væri úr timbri en sameiginlega rýmið úr stáli. Taka þarf ákvörðun um það þegar betur liggur fyrir hvaða efni eru aðgengileg og hverjar þarfir rýmanna eru.

Heimildir:

- [1] Skógræktarfélag Reykjavíkur (hæð bita, júní 2024). (munnleg heimild)
- [2] Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. (1998, nóvember). *Styrkflokkun timburs*. Trétækniráðgjöf slf. <https://timbur.is/styrkflokkun/>
- [3] Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. (1999, júní). *Yfirlit um styrkkröfur timburs*. Trétækniráðgjöf slf. <https://timbur.is/wp-content/uploads/2020/04/1.02-Yfirlit-um-styrkkr%C3%B6fur-timburs-1.pdf>
- [4] Nýsköpunarmiðstöð Íslands. (2015, ágúst). *RB-blað Ráðgjöf í byggingariðnaði*. Trétækniráðgjöf slf. <https://timbur.is/styrkflokkun/>
- [5] Húsnæðis og Mannvirkjastofnun (2023, október). *Vegvísir að mótun rannsóknarumhverfis mannvirkjagerðar (drög)*

Ávinningur og árangur

Mikil reynsla hefur nú þegar skapast frá því að verkefnið hófst. Teymi verkefnisins var mjög þverfaglegt en í ferlinu komu að einstaklingar í fasteignarekstri, verkfræðistofa, nemi, skógrækt, sveitarfélagi, einkafyrirtæki og hönnuðir. Allir aðilar sem hafa tekið þátt hafa öðlast nýja reynslu og eflt sýn þegar kemur að hringrásahagkerfinu. Einnig hefur mikið gerst í samfélaginu og því meiri skilningur að skapast almennt á hugmyndafræði hringrásarhagkerfisins. Arnhildur Pálmadóttir og Lendager hafa sýnt mikið frumkvæði á þessum vettvangi og kynnt árangur þeirra verkefna sem nú þegar hafa verið unnin hér á landi og erlendis. Verkefnið okkar hefur sýnt sig vera „lighthouse/pilot“ verkefni eins og lagt var upp með í byrjun, lítið skref sem hefur mikil áhrif og til hvatningar öðrum í svipuðum hugleiðingum. Þetta verkefni er einstakt hér á landi að því leiti að verkefnastjórar áttu frumkvæði að verkefninu og leituðu eftir sérfræðingum sem treystu sér til að styðja það. Því má kalla þetta brautryðjandi verkefni fyrir þá aðila sem að því koma. Í ferlinu komu upp nýjar hugmyndir eins þann möguleika á að nýta íslenskt timbur úr nærumhverfi í burðarvirki í hluta byggingarinnar en það er eitthvað sem teymið sér fyrir sér að skoða nánar í næstu skrefum. Verkefnið hefur sýnt að nóg er til af ýmis konar hráefni í nærumhverfinu og því mikil tækifæri til að minnka kolefnisspor við byggingar á húsnæði sem spennandi verður að skoða nánar.

Helstu áskoranir og niðurstöður

„Þolinmæði þrautir vinnur allar“ eða því trúir alla vega teymið okkar og við höldum ótrauð áfram. Ein af hindrununum er vöntun á svæði fyrir söfnun hráefnis og geymslu á því á meðan eiginleikar hráefnisins eru rannsakaðir út frá möguleikum til uppvinnslu í mannvirkjagerð. Hraði íslenska samfélagsins er heldur mikill og þolinmæði og skilningur af takmörkuðum skammti þegar kemur að því að bíða með að fjarlægja eldri byggingar sem mögulega væri hægt að nýta til uppvinnslu/endurnýtingu á öðrum stað. Einhverskonar löngarðar sem tækju á móti mögulegu byggingarefni, hefðu möguleika á að rannsaka og uppvinna hráefni sem síðan væri hægt að nýta til endurvinnslu í byggingariðnaðinum myndu auðvelda og ýta undir hringrásarhagkerfið. Þetta reyndist ein af hindrunum okkar í rannsóknum á stáli og því fórum við í að skoða hvort íslenskt timbur gæti mögulega nýst sem burðarvirki á móti stálinu. Teymið er mjög spennt að skoða nýtingu íslensks timburs í hluta burðarvirkis á móti endurnýttu stáli en nóg er af þessum efnivið í nærumhverfinu.