



Mynd 1. Ráðhús Reykjavíkur er byggt úr steinsteypu og var lögð áhersla á að steypan í útveggjum héldi blæ sínum við veðrun og í bleytu.

STEINSTEYPA – GERÐIR OG EIGINLEIKAR

1. Efni blaðsins

Tilgangurinn með útgáfu þessa Rb-blaðs er að gefa yfirlit yfir helstu þætti steinsteypu, eins algengasta byggingarefnis Íslendinga. Fjallað verður um helstu eiginleika steinsteypunnar og má þar helst nefna styrkleika, samsetningu og steypuskemmdir. Þá verður einnig fjallað stuttlega um ýmsar sérsteypur.

2. Tilvísanir

Staðlar

ÍST EN 206:2013+A1:2016

Steinsteypa – Tæknilysing, eiginleikar, framleiðsla og samræmi

Rb-blöð

Bending steinsteypu Rb Eh2.001

Vetrarsteypa Rb Eq.003.3

Steypuskemmdir – Almenn atriði Rb Eq.004

Alkalí-kísil efnabreytingar í steinsteypu Rb Eq.005

Íblöndunarefni í steinsteypu Rb Eq.006

Steinsteypa – Vatnsfælar Rb Eq.012

Alkalí-kísil efnabreytingar í steinsteypu: Mat á virkni fylliefna Rb Eq.014

Súl-Pak steypa Rb Eq.016

Fjaðurstuðull íslenskrar steinsteypu Rb Eq.017.2

Skrið í steinsteypu Rb Eq.018

SÚL steypa - Reynsla og þróun Rb Eq.022

Áhrif vinnslu steinsteypu á eiginleika hennar Rb Eq.023

Útþornun steyptra gólfa Rb Eq.024

Rb sérrit

Hönnun steyptra húsa - Handbók hönnuða, Rb rit nr. 76, Björn Marteinsson og Hákon Ólafsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 1999.

Formbreytingar steinsteypu: Fjaðurstuðull og skrið, Rb rit nr. 93, Guðni Jónsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 2006.

Alkalivirkni steinsteypu: Saga alkalirannsókna á Íslandi, Rb rit nr. 96, Guðmundur Guðmundsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 2007.

Steypuskemmdir - Ástandskönnun, Rb rit nr. 33, Ríkhildur Kristjánsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 1987

Hástyrkleikasteypa úr íslenskum efnum, Rb rit nr. 62, Ólafur Wallevik og Karsten Iversen, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 1992

3. Nokkur hugtök varðandi samsetningu steinsteypu og framleiðsluferli

Steinsteypa: Steinsteypa er byggingarefni gert úr blöndu af sandi og mól sem bundið er saman með sementsefju sem er blanda af sementi og vatni. Þegar sement og vatn blandast saman fara af stað efnahvörf sem verða til þess að steypan harðnar.

Sjálífútleggjandi steinsteypa: Sjálífútleggjandi steinsteypa (e. SCC eða self compacting concrete) er frábrugðin venjulegri steypu að því leyti að hún flýtur eins og vökvi án þess að aðskiljast og því þarf ekki að titra hana þegar hún er lögð í mót. Sjálífútleggjandi steinsteypa eyðileggst við titrun.

Fylliefni: Sandur og mól af mismunandi stærðum og gerðum. Fylliefni fyrir steypuframleiðslu þurfa að vera hrein (engin lífræn óhreinindi sem hindra eðlilega hörðun steypunnar), vera úr sterku bergi og hafa kornastærðardreifingu sem hentar fyrir steinsteypu. Oftar en ekki þarf að blanda misgrófum fylliefnum saman til þess að ná fram réttri kornstærðardreifingu.

Vatn: Íblandað vatn í steypu er stundum nefnt blendivatn. Sjór er mjög óheppilegt blendivatn vegna sjávarsaltsins en salt eykur hvörfunarhraða steypunnar, minnkar á móti langtímastyrk hennar og eykur tæringarhættu bendistáls. Vatn er notað til að hlúa að steypu fyrstu dagana eftir að hún hefur verið lögð niður en mjög mikilvægt er að halda steypu rakri fyrstu daga eftir niðurlögn til að hindra m.a. rýrnun með tilheyrandi sprungumyndun

Sement: Fín malað bindiefni sem hvarfast þegar það blandast vatni og harðnar í kjölfarið. Lýsa má sementi sem líminu í steinsteypu. Algengasta tegund sements er kallað Portlandsement.

Sementsgjall (klinker): Við lok brennslu í sementsofni í sementsframleiðsluferlinu er innihald ofnsins orðið að gráum, hörðum kúlum og fínu sandlíku efni, sem nefnt er sementsgjall. Eftir að sementsgjallið er tekið úr ofninum er það kælt og því næst malað í stórum kvörnum en við það myndast sement. Ísland er að mestu byggt upp af basalti og því er nægjanlegt magn af kalksteini ekki fyrir hendi hérlendis. Hjá Sementsverksmiðjunni á Akranesi, sem framleiddi sement á árabílinu 1958-2012, var skeljasandur af botni Faxaflóa notaður sem kalkgjafinn í framleiðsluferlinu. Líparít, sem er kísilrík bergtegund og myndar annan aðalefnispátt sements, var unnið úr námu í Hvalfjarðarbotni.

Sementsefja: Blanda af sementi og vatni.

Íblendiefni: Sérstökum íblendiefnum er yfirleitt blandað í steinsteypu til að hafa áhrif á hegðun hennar og eiginleika hvort sem er í fersku eða hörðnuðu ástandi. Má þar nefna vatnsspara, flotefni, ofurflotefni (e. superplasticisers), loftblendi, rýrnunarvara og þykkingarefni svo eitthvað sé nefnt. Ef fleiri

en eitt íblendiefni eru notuð saman í steypublöndu þarf að rannsaka sérstaklega áhrif þeirra hvers á annað.

Flotefni (vatnssparar): Sérvirk efni til að auka þjálmi og vinnanleika steinsteypu tímabundið án þess að hækka vatnssementstöluna að neinu ráði.

Loftblendi: Sérvirk efni sem mynda örsmáar loftbólur í steypunni meðan hún er hrærð. Við það eykst loft í steypunni og loftkerfi myndast.

Íaukar: Efni sem blandað er í steypu til að bæta tiltekna efniseiginleika hennar eða fá fram sérstaka eiginleika. Má þar sem dæmi nefna kísilryk, slagg, flugösku, malað líparít, malað kalk, litarefni o.fl.

Trefjar: Gerðar úr stáli, plasti, gleri eða basalti og notaðar til að styrkja og auka höggþol steinsteypu. Sérstakar rýrnunartrefjar úr plasti geta einnig unnið á móti rýrnun (sprungumyndun) eftir niðurlögn.

Vatnssementshlutfall: Þyngdarhlutfall vatns og sements í steinsteypu. Einnig nefnt v/s-tala.

Steypustöð: Stöð til framleiðslu á steinsteypu. Á Íslandi er nærri öll steypa framleidd í hrærivél í steypustöð (e. ready mix concrete plant) sem skammtar steypuna svo í steypubíl sem keyrir hana á byggingarstað. Víða erlendis tíðkast sá háttur að skammta þau hráefni sem þarf í steinsteypublönduna í steypubíl sem sér svo um að hræra hana (e. truck mixing).

Þjálmi: Mælikvarði á vinnanleika steinsteypu og þar með hversu auðvelt er að leggja hana í mót.

Sigmál: Sigmál er niðurstaða úr sigmálsprófi sem er prófunaraðferð til að mæla þjálmi og vinnanleika steypu. Sigmálskeila sem er 30 cm há er fyllt af steinsteypu, keilan er því næst dregin upp og sig steinsteypukeilunnar mælt, sjá mynd 2. Með því fæst mælt sigmál steypunnar. Sigmálsflokkar eru skilgreindir í steypustaðli í flokka S1-S5.

Sigmálsflæði: Sjálífútleggjandi steinsteypa flæðir mun meira en hefðbundin steypa og er þjálmi hennar annaðhvort mæld með sigmáli eða seigjumæli. Með sigmálmælingu á sjálífútleggjandi steinsteypu er þvermál sigmálskeilunnar mælt eftir að keilunni er lyft upp þegar steypan er hætt að flæða.

Steypustyrkur: Styrkur harðnaðrar steypu. Steypustyrkur miðast í langflestum tilfellum við 28 daga aldur steypunnar og er gefinn upp í mælieiningunni MPa. Steypa sem á að hafa 35 MPa styrk flokkast í styrkleikaflokkinn C35/45 þar sem talan 35 stendur fyrir styrkleika mældum á sívalningslaga steypusýnum en sú mæliaðferð hefur einkum tíðkast hérlendis undanfarna áratugi. Talan 45 stendur fyrir styrktartölu ef styrkleikinn er mældur á teningslaga steypusýnum (kubbum) eins og víða er gert erlendis.

Loftmagn: Loft í steypu gerir hana frostþolna. Byggingarreglugerð gerir kröfu um lágmark 5% loft til að tryggja frostþol steinsteypu. Áhrif loftsins í steypunni og ástæða fyrir áhrifum þess á aukið frostþol eru eftirfarandi: Þegar vatn frýs eykst rúmmál þess um 9%. Ef vatnsmettuð steypa frýs er ekkert pláss fyrir vatnið til að þenjast út og því verður steypan fyrir miklum innri þrýstingi. Við síendurtekna frostþíðu byrjar steypan að springa og molnar á endanum. Þegar vatn frýs í loftblendinni steypu með góðu loftkerfi getur það því þanist út í loftrýmið í steypunni og hún verður ekki fyrir innri þrýstingi af þessum sökum. Reikna má með því að loftmagn steypu lækki við 2% þegar henni er dælt í steypumót. Með hækkandi loftmagni í steypu lækkar styrkur hennar á móti. Loftmagn í steypu eykur yfirleitt þjálni hennar vegna aukins rúmmáls efju.

Loftkerfi: Loftmagn í steypu samanstendur af loftbólum sem verða að vera af hæfilegri stærð og jafndreifðar í steypunni. Loftbólurnar mynda því loftkerfi í steypunni sem verndar hana gegn frostskeimmdum við síendurteknar frostþíðusveiflur. Loftkerfi er metið út frá loftmagni steypunnar sem mælt er með loftmæli, fjarlægðarstuðli loftbóla sem segir til um meðalfjarlægð milli loftbóla og yfirborð loftbóla sem segir til um stærð þeirra. Loftkerfi er rannsakað með því að skoða slípað steypusýni í smásjá.

Fasaskilasvæði: Fasaskilin á milli sementsefju og fylliefnanna í harðnaðri steypu. Þau eru yfirleitt álitin veikasti hlekkurinn í steypu.

Rýrnun: Rúmmálsminnkun steinsteypu eftir niðurlögn sem á sér stað ef vatn gufar upp úr steypunni fljótlega eftir niðurlögn. Við það myndast sprungur í steypunni. Rýrnun er skipt í fimm aðalflokka: Plastíska rýrnun (e. plastic shrinkage), þurrkrýrnun (e. drying shrinkage), hvörfunarrýrnun (chemical shrinkage), sjálfútþornunarrýrnun (e. autogenous shrinkage) og koltvísýringsrýrnun (e. carbonation shrinkage).

Plastísk rýrnun: Sú rýrnun sem á sér stað í steypunni strax að niðurlögn lokinni, áður en hörðun hefst.

Þurrkrýrnun: Sú rýrnun sem á sér stað í steypunni vegna uppgufunar vatns á hörðunarskeiði hennar.

Hvörfunarrýrnun: Sú rýrnun sem á sér stað í steypunni vegna hvörfunar vatns og sements.

Sjálfútþornunarrýrnun: Sú rýrnun sem á sér stað þegar vatn minnkar í þórum steypunnar við hvörfun vatns og sements.

Koltvísýringsrýrnun: Sú rýrnun sem verður í steypunni þegar koltvísýringur úr andrúmsloftinu hvarfast við steypuna.

Skrið: Mælikvarði á varanlega formbreytingu harðnaðrar steinsteypu undir álagi yfir ákveðinn tíma.

Fjaðurstuðull: Mælikvarði á hversu mikið steypa svignar undir álagi.



Mynd 2. Sigmál til að mæla þjálni ferskrar steinsteypu.

4. Samsetning steinsteypu

Eins og áður hefur komið fram er steinsteypa byggingarefni úr blöndu af sandi og mól (fylliefni) sem bundið er saman með sementsefju, sem gerð er úr sementi og vatni. Steypa verður að hafa nægjanlega þjálni til þess að auðvelt sé að leggja hana niður í steypumótin, styrkur hennar verður að vera góður sem og ending en þar er yfirleitt átt við frostþol og almennt veðrunarþol steypunnar en einnig rýrnun og skrið.

4.1 Sement

Í flestum grundvallaratriðum eru allar sementstegundir framleiddar á sama hátt en helsti munurinn á framleiðslunni snýr að mismunandi hráefnum og sérstökum eiginleikum sem óskað er eftir að viðkomandi sement búi yfir. Algengasta tegund sements er svokallað Portlandsement en það er framleitt í ýmsum tegundum. Í sementsstaðlinum ÍST EN-197-1 eru skilgreindir fimm aðalflokkar sements sem er svo aftur skipt niður í fleiri flokka eftir samsetningu klinkers og íauka. Yfirlit yfir flokkana fimm má sjá í töflu 1:

Tafla 1. Fimm aðalflokkar sements

Tegund	Heiti
CEM I	Portlandsement
CEM II	Samsett Portlandsement
CEM III	Sement með slaggi
CEM IV	Sement með possolönnum
CEM V	Samsett sement

Portlandsement samanstendur af fjórum meginþáttum sem nefndir eru klinkerfasar en þeir eru hluti af sementsgjallinu sem verður til við brennslu í sementsofnum.

Klinkerfasarnir eru:

- Trikalsíumsilíkats (C_3S)
- Dikalsíumsilíkats (C_2S)
- Trikalsíumálats (C_3A)
- Tetrakalsíummálferrits (C_4AF).

Þessu til viðbótar er svo örfáum prósentum (yfirleitt 2-5%) af gífsi ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) bætt í framleiðsluferlið við mölun á sementsgjallinu en gífsið stjórnar storknun og hörðun sementsins.

Svokallaðir íaukar eru gjarnan notaðir annaðhvort með eða að hluta til í staðinn fyrir sement. Má þar sem dæmi nefna kísilyrk, slagg, flugösku, malað líparít, malað kalk, litarefni o.fl. Hér á landi hefur kísilyrk töluvert verið notað, þar sem hluti þess hefur legið á bilinu frá 4 til 7,5% af þyngd sements. Blöndun kísilyrks í íslenskt sement hófst í kringum 1979 en rannsóknir Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins höfðu sýnt að koma mætti í veg fyrir alkálíþenslur með íblöndun kísilyrks í íslenska sementið. Einnig hefur fín malað líparít verið notað hér á landi en á árum áður var framleitt Sigöldusement sem var með 25% af fín molaðu líparíti og svo seinna Blöndusement sem var með 25% líparít og 10% af kísilyrki. Sementstegundirnar tvær voru aðallega notaðar í samnefndar virkjanir. Á seinni árum, eftir að Sementsverksmiðjan á Akranesi hætti framleiðslu á íslensku sementi og innflutningur á sementi hófst hefur portland flugöskusement m.a. verið notað hér á landi. Eftir að sementsframleiðsla var hætt á Íslandi er kísilyrksblandað sement ekki lengur lagervara hérlendis en innflytjendur sements bjóða upp á kísilyrksblöndun ef þess er óskað en einnig er hægt að blanda kísilyrki beint í steypuhrævível í steypustöð. Vegagerðin gerir sem dæmi enn kröfu um kísilyrksblandað sement fyrir öll brúarmannvirki sín.

4.2 Fylliefni

Um það bil 60-70% af rúmmáli steypu er fylliefni og því hafa gæði fylliefnanna mikil áhrif á endanleg gæði steypublöndunnar. Hérlendis er basalt mest notaða berggerðin sem fylliefni í steinsteypuframleiðslu en langflest íslensk fylliefni hafa þá sérstöðu að holrýmd þeirra er mjög mikil. Til dæmis er holrýmd íslenskra fylliefna yfirleitt á bilinu 2-10% en holrýmd í þéttum erlendum fylliefnum er oft á í kringum 0,5%. Eins og áður hefur verið nefnt geta gæði fylliefna verið mjög misjöfn en bæði eru náttúruleg fylliefni notuð í steypu sem og tilbúin fylliefni. Náttúruleg fylliefni eru langalgengust í steypu en þau eru bæði til brotin og óbrotin. Óbrotin fylliefni eru unnin úr árfarvegum, fjörum eða sjó (sjávarfni þarf að þvo til að losna við saltið) en brotin fylliefni eru unnin úr námum og þá annaðhvort sprengt eða unnið með vélum og loks malað og harpað. Gæði fylliefna eru m.a. metin með berggreiningum á fylliefnum samkvæmt



Mynd 3. Hallgrímskirkja er hæsta steinsteypta mannvirki Reykjavíkur (74,5 m) en Turninn á Smáratorgi í Kópavogi er hæsta mannvirki höfuðborgarsvæðisins (77,6 m).

berggreiningarkerfi Rb.¹ Vegna sérstöðu Íslands varðandi jarðfræðilegar aðstæður og bergfræðilega samsetningu miðar berggreiningarkerfið að því að skipta tiltölulega fáum bergtegundum niður í tiltölulega marga flokka, fyrst og fremst eftir þéttleika og ummyndunarstigi.

4.3 Íblendiefni

Auk fylliefna, sements og vatns er sérstökum íblendiefnum yfirleitt blandað í steypuna til að hafa áhrif á hegðun hennar og eiginleika hvort tveggja í fersku og hörðnuðu ástandi. Íblendiefnin eru af ýmsum gerðum og tegundum en þau helstu eru svonefnd flotefni (e. plasticizers og superplasticizers), loftblendi (e. air entrainer), seinkarar (retarders), hraðarar (e. accelerators), rýrnunarvarar (shrinkage reducers) og þykkingarefni svo eitthvað sé nefnt og eru yfirleitt á fljótandi formi þar sem virka efninu hefur verið blandað saman við vatn.

Flotefnum er blandað saman við steypuna til að auka vinnanleika hennar tímabundið og auðvelda niðurlögn hennar án þess að miklu viðbótarmagni af vatni þurfi að bæta við blönduna. Þessi efni hafa því oft einnig verið nefnd vatnssparar.

4.4 Loftblendi

Loftblendiefni mynda litlar og stöðugar loftbólur í steypunni sem hindra að steypan skemmist þegar vatn frýs í holrými hennar. Byggingarreglugerð gerir kröfur um að loftmagn í frostheldri útisteypu sé að lágmarki 5% (eftir dælingu) en ekki er nóg að tryggja að nægjanlegt loft sé til staðar, heldur verður loftkerfi hennar einnig að vera af rétttri gerð þannig að loftbólurnar séu af hæfilegri stærð og jafndreifðar í steypunni. Mun erfiðara getur verið að ná góðu loftkerfi í steypublönduna en að tryggja að 5% lágmarksloftmagn sé náð en gott loftkerfi leikur lykilhlutverk í góðu veðrunarþoli steypublöndunnar.

¹ Berggreiningarkerfi Rb (Rb sérrit nr. 57).

5. Þrýstistyrkur steypu

Þegar talað er um styrkleika steinsteypu er almennt átt við þrýstistyrk (brotstyrk) enda er hún flokkuð í styrkleikaflokka eftir þrýstistyrk skv. gildandi staðli ÍST EN 206:2013, miðað við 28 daga gömul sýni. Þrýstistyrkur steinsteypu er sá eiginleiki sem er mikilvægastur með tilliti til burðarþols. Steinsteypa er almennt með góðan þrýstistyrk samanborið við togstyrk hennar, sem gjarnan er u.þ.b. 10% af þrýstistyrk.

Sem mælikvarði á gæði ferskrar steypu er algengast að nota þyngdarhlutfall sements og vatns í steypublöndu, svonefnt vatnssementshlutfall (einnig nefnt vatnssementstala eða bara v/s-tala). Fyrir gæðasteypu er nauðsynlegt að nota sem minnst vatn umfram það sem þarf fyrir efnahvörfin en almennt gildir að því lægra sem vatnssementshlutfallið er því betri og sterkari verður steypan.

Samkvæmt byggingarreglugerð skal vatnssementshlutfall í útisteypu sem er að mestu laus við saltáhrif vera lægra en 0,55 en í útisteypu sem verður fyrir saltáhrifum skal hlutfallið vera lægra en 0,45. Mikilvægt atriði til þess að ná góðri þjálni með sem minnstu vatni er að tryggja góða kornastærðadreifingu fylliefnanna þannig að hver kornastærð fylli upp í holrými grófari kornastærða. Til þess að tryggja þetta þarf að vinna fylliefnin í mismunandi stærðarflokka og blanda þeim síðan saman í réttum hlutföllum. Ef kornastærðadreifingin er góð þakast steypan vel, verður þéttari og þar af leiðandi sterkari.

Sementsefjan í steypunni harðnar vegna efnahvarfa á milli kalks (CaO) úr sementinu og vatns (H₂O). Fyrir þessi efnahvörf, CaO + H₂O = Ca(OH)₂ þarf minna vatn en almennt er nauðsynlegt til þess að ná nægjanlegri þjálni svo að hægt sé að leggja steypuna með góðum hætti í steypumótin. Með öðrum orðum þá væri steypan nær óútleggjanleg ef ekki væri bætt við vatni umfram lágmarkspörf til efnahvarfa.

Þrýstistyrkur er mældur á steypum sýnum skv. staðli sem geymd eru við meira en 95% raka og við 20°C hita í 28 daga. Styrkur steypunnar fer að mestu eftir styrk sementsefjunnar en raka- og hitastig ásamt aldri hafa áhrif á hörðunarferil hennar og þróun styrks. Þess vegna eru þau skilyrði sem steypan harðnar við stöðluð. Unnt er að skilgreina þrýstistyrk steinsteypu með mismunandi hætti. Af hagkvæmnisástæðum er miðað við 28 daga styrk en eftir þann tíma er kominn fram mestur hluti endanlegs styrks (85-90%). Steypa heldur þó áfram að harðna í nokkur ár.

Tafla 2. Styrkleikaflokkun steypu.

Styrkleikaflokkur	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f _{ck,cyl} ¹ (N/mm ²)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f _{ck,cube} (N/mm ²)	15	20	25	30	37	45	50	55	60

¹f_{ck,cyl} samsvarar f_{ck} í Eurocode.

Tvær megináðferðir eru til að meta þrýstistyrk steinsteypu, annars vegar brotstyrkur teninga og hins vegar brotstyrkur sívalninga. Samanburður á milli teningsstyrks og sívalningsstyrks er sýndur í töflu 2.

Tafla 2 sýnir hvernig steinsteypa er flokkuð í mismunandi styrkleikaflokka skv. staðlinum EN ÍST 206:2013. Sýnd er flokkun miðað við bæði teninga og sívalninga.

6. Niðurbrot steypu

Hörðnuð steinsteypa getur skemmst og brotnað niður af ýmsum orsökum bæði vegna eðlis- og efnafræðilegs álags. Eins og áður var nefnt er togþol steinsteypu aðeins 5-10% af þrýstistyrk steinsteypu og því eru steinsteipt mannvirki yfirleitt hönnuð með járnbandingu til að taka við togþætti hönnunarálags. Engu að síður geta myndast stakar sprungur eða sprungumynstur í steypu. Sprungumyndun ein og sér opnar upp steypuna og gerir hana opna fyrir vatni sem síðan getur leitt til frostþíðuskemmda, þótt steypan hafi verið frostþolin, eða tæringu á bendistáli. Þannig getur sprungumyndun verið samverkandi með mismunandi niðurbrotsferlum og leitt til ótímabærs viðhalds. Hér verður fjallað um algengustu tegundir niðurbrots steinsteypu, þ.e. frostþíðuskemmdir (veðrunarálag), alkalískemmdir og skemmdir vegna tæringu bendistáls.

6.1 Frostþíðuskemmdir

Þegar vatn frýs þenst það út um 9%. Ef raki í steypu frýs myndast íslinsur í steypunni sem þenjast út. Ef steypan er með æskilegt loftkerfi eru holrými til staðar þar sem íslinsurnar geta þanist út án þess að valda skaða. Ef þessi holrými eru ekki fyrir hendi eða dreifing þeirra er óæskileg veldur ísmyndunin innra álagi á steypuna. Við síendurtekna frostþíðusveiflur molnar slík steypa með tímanum niður.

Með hækkandi v/s-tölu verður stöðugt meira holrými (hárpípur) fyrir hendi í sementsefjunni, rakadrægni steypunnar eykst og veðrunarþol minnkar að sama skapi. Til þess að auka veðrunarþol steinsteypu er blandað í hana loftblend, þ.e.a.s. vökva sem myndar mikinn fjölda loftbólna í sementsefjunni. Þessar loftbólur eru kúlulaga og minnka rakadrægni steypunnar með því að rjúfa hárpípunar og tryggja tómt holrými þar sem íslinsurnar geta þanist út við frost.

Í byggingarreglugerð eru gerðar kröfur til útisteypu til þess að tryggja veðrunarþol hennar, sjá töflu 3. Þessar kröfur miðast aðallega við v/s-tölu og loftinnihald. Kröfurnar eru strangari í steypu sem verður fyrir saltálagi til viðbótar frostþíðuálagi þar

sem saltið eykur skemmdaráhrif frostsins. Loftkerfi harðnaðrar steinsteypu er gjarnan metið með viðsjárskoðun (ca 40x stækkun) á slípaðri sneið. Í byggingarreglugerð eru ekki gerðar kröfur um hvað teljist fullnægjandi loftkerfi en algengar kröfur frá hönnuðum eru að yfirborð loftbóla skuli vera meira en 25 mm^{-1} og fjarlægðarstuðull minni en 0,2 mm. Þetta eru sömu kröfur og settar eru fram í Alverki Vegagerðarinnar. Einkennandi yfirborð er sett fram sem flatarmál á rúmmál, og einingin mm^2/mm^3 eða mm^{-1}

Tafla 3. Kröfur í byggingarreglugerð til útisteypu til að tryggja veðrunarþol.

Eiginleiki	Veðrunarálag	
	frost + vatn	frost + vatn + salt
v/s - hlutfall	≤ 0,55	≤ 0,45
loftblendi (%)	≥ 5	≥ 5
sementsmagn (kg/m^3)	≥ 300	≥ 350

6.2 Alkalískemmdir

Alkalívirgni er það kallað þegar efnahvörf milli alkalíefna (natríums og kalíums) úr sementinu, kísils úr fylliefnunum og þóruvökvans í steypunni mynda alkalíkísilhlauþ. Hlaupið er mjög rakadrægt og þenst út við upptöku vatns. Slíkar þenslur geta valdið sprungumyndun í steypunni og leitt til grotnunar hennar.

Til þess að slík skaðleg efnahvörf geti átt sér stað þurfa fylliefnin að vera „virk“. Til þess að meta hvort fylliefni séu virk eru steypdir steypu- eða múrstrendingar lengdarmældir yfir ákveðið tímabil. Þenslurnar sýna hvort efnið sé virkt eða ekki en þessar mælingar eru gerðar skv. ákveðnum stöðlum og eru nokkrar slíkar prófunaraðferðir til. Einnig eru framkvæmdar s.k. berggreiningar á fylliefnum, samkvæmt berggreiningarkerfi Rb.² Berggreiningar geta greint á milli virkra og óvirkra fylliefna.

Alkalískemmdir voru algengar í steinsteypu á höfuðborgarsvæðinu á tímabilinu 1960–1979. Líkt og í flestum öðrum löndum gátu menn í upphafi ekki greint þessar skemmdir með öruggum hætti og ekki var sannað að alkalískemmdir væru alvarlegt vandamál hér á landi fyrr en með ástandskönnun sem lauk í lok árs 1978. Á Rb var þó strax í byrjun sjöunda áratugarins bent á að Hvalfjarðarefni, sem farið var að nýta um 1960, væri alkalívirkt og að íslenskt sement sem kom á markað litlu fyrr eða 1958 innihéldi mjög mikið alkalí og því gæti skapast hætta á slíkum skemmdum þegar þessi efni væru notuð saman. Steinsteypunefnd var stofnuð árið 1966 til þess að vinna gegn alkalívirgni í steinsteypu og gerði hún það með því að kosta fjölmargar rannsóknir við Rb. Með þessum rannsóknum var unnt að finna hvaða aðgerðir væru vænlegar til þess að varna því að alkalívirgni ætti sér stað í nýrri steypu og hvernig mætti draga úr eða stöðva alkalívirgni í alkalívirkrri steypu.

Þessar aðgerðir voru settar í reglugerð í júlí 1979 og hafa dugað vel þar sem alkalískemmdir í mannvirkjum eftir þann tíma heyrta til algerra undantekninga.

² Berggreiningarkerfi Rb (Rb sérrit nr. 57).

6.3 Skemmdir vegna tæringar bendistáls í steypu

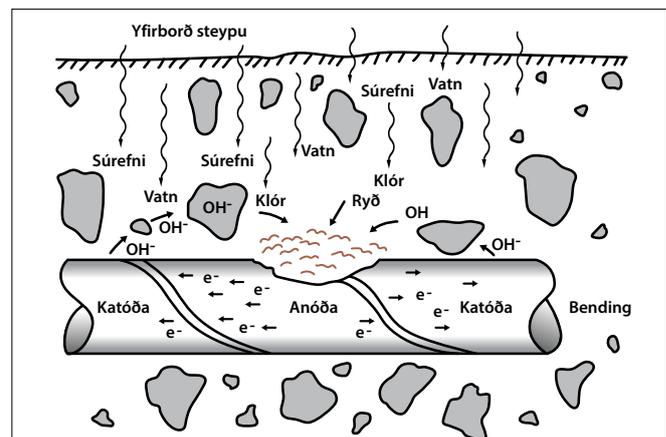
Undir venjulegum kringumstæðum skapast tæringarhætta bendistáls ekki á líftíma steinsteypts mannvirkis. Súrustig (pH-gildi) óskemmdrar steinsteypu er um 12,5 til 13,6. Við þær aðstæður veitir steypa góða vörn gegn tæringu á bendistáli. Tvö helstu ferli sem brjóta niður hina náttúrulegu vörn steypu eru annars vegar kolsýring steypu og hins vegar leiðni klóríðs inn í steypu.

Koltvísýringur (CO_2) úr andrúmsloftinu gengur inn í steypu smám saman. Við það súrnar steypa vegna efnahvarfa sem eiga sér stað (CO_2 (andrúmsloft) + $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (steinsteypa) = CaCO_3 + H_2O), þ.e. pH-gildi steypunnar lækkar. Þar sem CO_2 gengur inn í steypuna, ver steypa bendinguna ekki lengur gegn tæringu. Það er háð ýmsum þáttum (bæði eiginleikum steypunnar og ytri aðstæðum, eins og t.d. rakastigi og hitastigi) hve hratt kolsýringin á sér stað. Kolsýring steypu er gróflega í hlutfalli við kvaðratrót af tíma, þ.e.a.s. ef steypa hefur kolsýrst um 1 mm á einu ári þá tekur hana fjögur ár að kolsýrast um 2 mm, níu ár að kolsýrast um 3 mm og svo koll af kolli. Opin og léleg steypa getur þó kolsýrst um nokkra millimetra á ári.

Klóríð hefur einnig áhrif á tæringu bendijárns í steypu. Klóríð getur borist inn í steypuna eftir nokkrum leiðum og brýtur niður hina alkalísku vörn hennar. Klóríð er notað í ýmis efni við steypugerð, eins og t.d. hörðunarhraðara (t.d. CaCl_2). Það getur einnig borist inn í steypu með fylliefnum, t.d. ef um er að ræða óskolað sjávarfni. Þannig getur klóríð borist inn í steypu með ýmsum hráefnum sem notuð eru við gerð hennar en algengast er þó að það berist inn í steypu frá umhverfinu, t.d. ef mannvirkið er við sjó, eða með vegsöltum.

Súrefni (O_2) gengur inn í steypu og veldur tæringu á bendistáli ef hin innbyggða vörn steypunnar gegn tæringu (pH-gildi) hefur verið brotin niður, sjá mynd 4.

Steypuhula yfir bendijárni virkar sem vörn gegn því að klóríð eða kolsýring komist að bendijárninu og því þykkari sem steypuhulan er, því lengri tíma tekur það fyrir utanaðkomandi



Mynd 4. Tæring bendijárns í steinsteypu.

efni eins og klóríð að komast að bendistálinu. Til þess að lengja líftíma mannvirkja þar sem búast má við mikilli tæringarhættu er steypuhulan aukin umfram hefðbundna steypuhulu.

V/s-hlutfall steypu hefur áhrif á eiginleika hennar m.t.t. tæringarhættu. Steypa með lágt v/s-hlutfall er mun þéttari í sér en steypa með hátt v/s-hlutfall og því er leiðni klóríðs eða CO₂ inn í steypu mun minni í steypu með lágt v/s-hlutfall.

7. Sérsteypur

Þegar steinsteypa er framleidd með sérstaka eiginleika í huga er talað um sérsteypur. Þannig eru til sjálfútleggjandi steypur, neðansjárvarsteypur, trefjasteypur, hástyrkleikasteypur, léttsteypur umhverfisvænar steypur o.fl. Upplýsingar um ábyrgð steinsteypuframleiðenda má finna í byggingarreglugerð hverju sinni.

7.1 Sjálfútleggjandi steinsteypa

Sjálfútleggjandi steypa er frábrugðin hefðbundinni steinsteypu að því leyti að í fersku ástandi er hún fljótandi eins og vökví, án þess að aðskiljast og ekki þarf að víbra hana við niðurlögn. Slíkt getur sparað mikinn mannafla við niðurlögn ásamt því að unnt er að leggja steypuna niður þar sem erfið og þétt járnabinding er eða þar sem ekki er unnt að koma vibratör fyrir. Rekja má allt að helming steypuskemmda í mannvirkjum til ófullnægjandi niðurlagnar, einkum vegna víbrunar og eftirmeðhöndlunar steypunnar. Því má gera ráð fyrir að slík vandamál myndu minnka töluvert með notkun sjálfútleggjandi steypu.

7.2 Neðansjárvarsteypa

Neðansjárvarsteypa er sérstaklega hönnuð til að nota undir vatnsyfirborði. Í slíka steypu er gjarnan notað sérstök þykkingarefni til að auka seigjuna. Með þessu móti verður samloðun góð og sementsefjan skolast takmarkað frá fylliefnunum. Vel þarf að huga að dælingu steypu neðansjárvar til að hindra að sementið skolist ekki frá við dælingu.

7.3 Trefjasteypa

Trefjasteypa er steypa sem inniheldur trefjar, oft til að hafa



Mynd 5. Myndin sýnir stöpul á Borgarfjarðarbrú með sjálfútleggjandi hástyrkleika kápusteypu. Gólfíð í brúnni hefur einnig verið endursteypt með slitsterkri steinsteypu.

áhrif á slitþol hennar með því að draga úr sprungumyndun. Til eru mismunandi gerðir af trefjum en val hverju sinni fer eftir notagildi og orsök mögulegrar sprungumyndunar. Til að hindra plastískar sprungur (vegna plastískrar rýrnunar) er gjarnan notast við örfínar trefjar, en til að hafa áhrif á sprungumyndun vegna þurrkrýrnunar, sem á sér stað seinna, er oftast notast við stáltrefjar eða þykkar plasttrefjar.

7.4 Hástyrkleikasteypa

Steinsteypu má skipta í eftirfarandi styrkleikaflokka m.t.t. þrýstipóls:

- Venjuleg steypa 20-55 MPa
- Hástyrkleikasteypa 55-85 MPa
- Sérlega sterk steypa 85-120 MPa
- „Supersteypu“ >120 MPa

Nær öll steypugerð hér á landi flokkast sem venjulega steypa á bilinu 20-40 MPa. Vegagerðin notar gjarnan sérlega sterka steypu við viðgerðir á gólfum brúarmannvirkja.

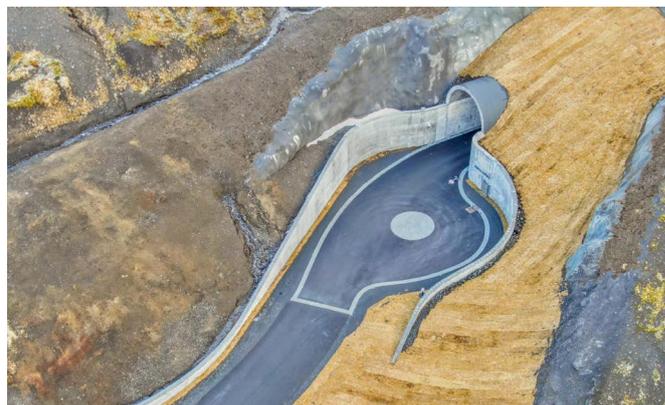
Hástyrkleikasteypa þarf einnig að hafa eiginleika sem eru verulega umfram eiginleika venjulegrar steypu eins og t.d. varðandi klórleiðni, endingu, kolefnisspor o.s.frv.

7.5 Léttsteypa

Léttsteypa er steypa sem hefur umtalsvert lægri rúmþyngd en hefðbundin steypa. Hefðbundin steypa hefur að jafnaði rúmþyngd um 2300 kg/m³. Með notkun léttfylliefna, s.s. vikurs, má lækka þessa rúmþyngd töluvert eða allt niður í um það bil 700 kg/m³. Slík steypa getur hentað sérstaklega vel þar sem eiginþyngd steypu hefur óæskileg áhrif.

7.6 Umhverfisvæn steinsteypa

Umhverfisvæn steinsteypa er steypa þar sem kolefnisspor (kg_{CO2e}/m³) hefur verið lækkað umtalsvert samanborið við hefðbundna steinsteypu, sem hefur um 350 til 400 kg_{CO2e}/m³. Oft stafa um 80% af kolefnisspori steypunnar frá sementinu. Í umhverfisvænni steypu er sementsmagnið minnkað töluvert og önnur efni/laugar sem hafa mun lægra kolefnisspor notuð,



Mynd 6. Myndin sýnir stoðvegg við inngang í Búrfellsstöð II sem steypur var úr umhverfisvænni steinsteypu en hún var hönnuð af Rb hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands.

s.s. flugaska, basaltméla/gler og kísilyrk, eða notað sement sem hafa verulegt magn íauka. Á ICI Rheocenter hjá Rb við Nýsköpunarmiðstöð Íslands og Háskólann í Reykjavík, hafa verið skilgreindir sérstakir kolefnisflokkar fyrir steinsteypu með hliðsjón af kolefnisspori hennar (e. Low Carbon Concrete Classes – LCC):

- LKS₃₀₀ (e. Semi-LCC) ≤ 300 kg_{CO2e}/m³
- LKS₂₅₀ (e. LCC₂₅₀) ≤ 250 kg_{CO2e}/m³
- LKS₂₀₀ (e. LCC₂₀₀) ≤ 200 kg_{CO2e}/m³
- LKS₁₅₀ (e. LCC₁₅₀) ≤ 150 kg_{CO2e}/m³
- LKS₁₀₀ (e. LCC₁₀₀) ≤ 100 kg_{CO2e}/m³

LKS er skammstöfun fyrir lág-kolefnisspor steinsteypu. Einnig má hafa í huga að með tímanum kolsýrist steypa og þannig nær hún að binda nokkurn hluta þess koltvísýrings að nýju sem losaður var við framleiðslu hennar, en þetta gerist á löngum tíma.

7.7 Sprautusteypa

Sprautusteypa er yfirleitt notuð innan á yfirborð gangamannvirkja. Hún inniheldur oftast minni kornastærð fylliefna en hefðbundin steypa, meira sementsmagn og er blönduð hraðar til að auka byrjunarstyrkinn.

8. Steinsteypa á Íslandi

Byrjað var að notast við sement á Íslandi 1847 en það var þá notað við múrhúðun dómkirkjunnar í Reykjavík. Sement var svo ekki notað aftur fyrr en 1871 og þá við byggingu Dóms- og hegningarhússins og í framhaldi af því var farið að skrifa um möguleika á notkun steinsteypu til húsagerðar. Fyrsta húsið sem reist var 1876-82 úr steinsteypum steinum heitir Garðar og er á Akranesi. Árið 1895 var fyrsta steinsteypuhúsið reist í Sveinatungu í Borgarfirði. Fyrstu áratugi steinsteypuhúsa voru hús ýmist hlaðin úr steinsteypusteinum eða steyppt í mót en vinsældir steypunnar voru ekki miklar til að byrja með þar sem mikil hefð var fyrir byggingu timburhúsa hér á landi og þekkingin lá mikið í þeirri byggingaraðferð. Það var ekki fyrr en eftir brunann mikla í Reykjavík árið 1915 að steinsteyppt hús tóku nær alfarið yfir og þá sérstaklega í miðbæ Reykjavíkur í kjölfar viðauka við þágildandi byggingarsamþykkt frá 1903. Timburhúsum voru þá settar svo þröngar skorður að nær ómögulegt var að byggja annað en steinsteyppt hús og er gjarnan talað um að steinsteypuöld hafi gengið í garð á þessum tímamarki.

9. Um Rb-blöð

Frá árinu 1973 hafa Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og nú Nýsköpunarmiðstöð Íslands gefið út Rb-blöð sem eru tækni- og leiðbeiningarblöð fyrir byggingariðnaðinn.

Rb-blöð innihalda tæknilegar upplýsingar um ýmislegt sem viðkemur viðhaldi, hönnun og byggingu mannvirkja.

Blöðin eru mikið notuð af fagmönnum í byggingariðnaði og húseigendum til viðmiðunar um viðhald og gerð mannvirkja.

Eftexta í Rb-blaði ber ekki saman við texta byggingarreglugerðar, eins og hann er birtur í B-deild Stjórnartíðinda, gildir textinn sem birtur er í Stjórnartíðindum

10. Heimildir

Björn Marteinson. (2008). Íslenski útveggurinn – efniseiginleikar, rakaástand og viðhaldspörf. Reykjavík: Nýsköpunarmiðstöð Íslands.

Byggingarreglugerð nr. 112/2012, með áorðnum breytingum, uppfærð 23. október 2020.

Ýmsar samantektir og skrif Ólafs H. Wallevik, Jóns Elvars Wallevik og Björns Hjartarsonar frá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og Nýsköpunarmiðstöð Íslands.

Alkalívirgni steinsteypu: Saga alkalíransókna á Íslandi, sérrit nr. 96, Guðmundur Guðmundsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 2007.

Hönnun steyptra húsa - Handbók hönnuða, sérrit nr. 76, Björn Marteinson og Hákon Ólafsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 1999.

Formbreyting steinsteypu - Fjaðurstuðull og skrið, sérrit nr. 93, Guðni Jónsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 2006

Minjastofnun – Ágrip íslenskrar húsagerðarsögu fram til 1970.

Neville, A. M. Properties of Concrete. Education Limited, Essex (1995).

Vegorðasafn Vegagerðarinnar <https://vegordasafn.vegagerdin.is>

Steypuskemmdir - Ástandskönnun, Rb rit nr. 33, Ríkharður Kristjánsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 1987

Hástyrkleikasteypa úr íslenskum efnum, Rb rit nr. 62, Ólafur Wallevik og Karsten Iversen, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 1992.

Höfundar: Björn Hjartarson, Gísli Guðmundsson, Kristmann Magnússon.

Myndir: Kristmann Magnússon, Shutterstock myndabankinn og Vegagerðin.

Teikningar: Gunnar Júlíusson

Sérstakar þakkir: Mannvirkjastofnun sem styrkti útgáfu þessa Rb blaðs.



Rb blaðið er prentað á svansvottaðan pappír hjá Prentmet Odda