

1994. – 1064 ár frá stofnun Alþingis.
118. löggjafarþing. – 14. mál.

14. Tillaga til þingsályktunar

um notkun steinsteypu til slitlagsgerðar.

Flm.: Gísli S. Einarsson, Kristín Einarsdóttir, Guðjón Guðmundsson,
Árni R. Arnason, Ingibjörg Pálmadóttir, Svavar Gestsson,
Ragnar Elbergsson.

Alþingi ályktar að fela samgönguráðherra að beita sér fyrir aukinni notkun steinsteypu til slitlagsgerðar þar sem álagsumferð er meiri en 5 þúsund bílar á dag, jafnframt til brúargerðar og á vegi við þéttbýli þar sem umferð er 5 þúsund bílar á sólarhring og meira. Vegagerð ríkisins hafi að markmiði við nýlagningu og endurnýjun slitlags að nota steinsteypu þar sem umferðarpungi og álag er mikið.

Greinargerð.

Mjög ítarlegar og markvissar rannsóknir hafa verið unnar á síðustu tveimur áratugum á notkun steinsteypu til vega- og gatnagerðar. Fyrir liggur að mun hagkvæmara er að nota steypu þar sem umferð og álag af völdum veðurfars og þungaflutninga er mikið. Í þessari greinargerð er vísað til meðfylgjandi gagna um rannsóknir sem unnar hafa verið og kynntar af Íslendingum. Notkun íslenskra efna til vegagerðar er kappsmál þar sem saman fara atvinnuskapandi og gjaldeyrissparandi þættir, auk meiri gæða.

Kostir frá umhverfissjónarmiði eru ótvíræðir. Í stað olíuefna, sem gufa upp og menga jarðveg og andrúmsloft eða er komið fyrir í náttúrunni þegar gömul olíuslitlög eru fjarlægð, kemur umhverfisvænt efni, alíslenskt, sem er steinsteypa.

Góða sönnun fyrir hagkvæmni steinsteypu sem bundins slitlags má finna á Akranesi. Allt frá fyrstu tíð, þ.e. frá árinu 1960, hafa steypu slitlögin reynst þar eins og best verður á kosið. Engum fjármunum hefur verið varið til viðhalds steyptra gatna á Akranesi þau 33 ár sem þau hafa verið í notkun. Tæknimenn Akranesbæjar reikna með að steyp gata endist a.m.k. þrisvar sinnum lengur en malbikuð og er það byggt á framansögðu. Við mat á hagkvæmni slitlags kemur það enn frekar í ljós. Tilboð í 5 sm þykkt malbik á síðasta ári var ekki nema 40% ódýrara en 12 sm þykkt steypa. Verðtilboð í steypu var á Akranesi á árinu 1993 1.891 kr. á fermetra miðað við 12 sm þykkt, en verðtilboð í malbik á sama tíma var 1.150 kr. á fermetra miðað við 5 sm þykkt.

Rétt er að geta þess að sementsverð er það sama á öllu landinu vegna verðjöfnunar. Á malbiki er engin verðjöfnun sem gerir það þeim mun dýrara sem flutningsleið þess er lengri frá löndunarhöfn. Enn fremur ber að hafa í huga að til lagningar malbiks þarf sérhæfð tæki og mannskap. Nær alls staðar á Íslandi er til verkþekking til gatna- og vegagerðar með steinsteypu. Eftirfarandi atriði mæla sérstaklega með steinsteypu til gatna- og vegagerðar:

- Meiri ending og minna viðhald, ekki síst við álag nagladekkja.
- Minni erlendur kostnaður, en kostnaður er óháður olíuverði sem er u.þ.b. 11% af stofnkostnaði malbiks.
- Fleiri störf hérlandis, steypustöðvar, efnisvinnsla, sementsverksmiðja.

- Minni eldsneytisnotkun (10–20%) einkum vegna harðara yfirborðs steypu og minna vatns í hjólförum.
- Minni efnamengun vegna slittryks.
- Að jafnaði grynna hjólför og þar af leiðandi minna um slys.
- Minni kostnaður við lýsingu þar sem steypa er ljós en malbik dökkt.

Á allt of mörgum sviðum hefur hagkvæmum og atvinnuskapandi möguleikum, þar sem um hefur verið að ræða íslensk efni, verið hafnað. Erlend efni hafa verið tekin fram yfir vegna auglýsinga og áróðurs í krafti fjármagns þeirra sem hlut eiga að máli. Oft eru ákvarðanir teknar með skammtímasjónarmið í huga og án þess reikna hagkvæmnið til enda og þegar haft er í huga að eingöngu opinberir aðilar standa að slitlagagerð gefur það vissulega tilefni til sérstakrar rannsóknar og úttektar. Hliðstæð dæmi má nefna þar sem íslensk byggingarefni, sambærileg að verði og gæðum, hafa lotið í lægra haldi fyrir innfluttum byggingarvörum sem oft eru niðurgreiddar eða ríkisstyrktar. Þetta á t.d. við um eldhúsinnréttingar, fjölmarga innanstokksmuni, gipseiningar og margs konar loft- og veggplötuklæðningar. Annað dæmi, sem rétt er að nefna, er íslenskur skipasmíðaiðnaður sem er nánast rjúkandi rústir sökum samkeppni við ríkis- og atvinnubótastyrktan sambærilegan iðnað í nágrannalöndum okkar, svo sem Noregi, Danmörku, Svíþjóð og fleiri vestrænum ríkjum.

Íslensk yfirvöld verða að stemma stigu við því að verkþekking og atvinnutækifæri glatist sökum andvaraleysis þegar vegið er að starfsgreinum í atvinnulífi landsmanna.

Fylgiskjal.

Ólafur Wallevik, Karsten Iversen,
Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins:

Hástyrkleikasteypa úr íslenskum efnum.
Kostir, notagildi, efniseiginleikar og framleiðsla.
(Mars 1992.)

1. INNGANGUR

Siðustu tvo áratugi hefur verið mjög ör þróun í steinsteyputækni. Kemur þetta m.a. fram í því að tvær nýjar greinar innan steinsteyputækninnar hafa séð dagsins ljós, þ.e.a.s. **hástyrkleikasteypa og hágæðasteypa**. Þessi þróun hefur m.a. mótast af:

- Aukinni þekkingu á efnum.
- Aukinni nýtingu á þverfaglegri þekkingu frá öðrum faggreinum (svo sem jarðfræði, efnafræði, "Colloid Science", rafindasmásjártækni).
- Tilkomu nýrra sementsefna og íblöndunarefna.
- Notkun járnbundinnar og strenglastyrktar steypu í nýjum gerðum af mannvirkjum (svo sem olíu og gasmannvirkum í sjó).
- Kröfum um meiri, hærrí, lengri og þynnri mannvirki
- Kröfum um lengri endingu steypu, og þá einum á svæðum, þar sem álag er mikið.

Framleiðsla á hástyrkleikasteypu (HSS) fer stöðugt vaxandi í heiminum t.d. höfðu í Noregi árið 1988^[1] u.þ.b. 20 fyrirtæki gert tilraunir með HSS í venjulegum mannvirkjum. Auk þess hafa verið framleiddir u.þ.b. 20 oliuborþallar úr hágæðasteypu.

Það er alltaf munur á framleiðslumöguleikum gagnvart hámarksstyrk í tilraunastöð og í steypustöð, þar sem framleitt er mikið meira magn í einu. T.d. er "helmsmetið" í styrk steypu með náttúrulegum fylliefnum, annars vegar C 130 (u.þ.b. 140 MPa) framleitt í steypustöð^[2] og hins vegar yfir 200 MPa (230) í tilraunastöð^[3]. Með því að hita steypusýnin upp í u.þ.b. 250°C, þannig að efnahvörf myndist á milli efju og fylliefna þá hefur náðst^[4] allt að 250 MPa styrkur. Með því að nota keramikefni í stað náttúrulegra fylliefna hefur náðst^[5] u.þ.b. 460 MPa styrkur. Einnig hefur náðst yfir 100 MPa styrkur í léttsteypu^[6] (rúmpyngd undir 1900 kg/m³).

Flestir staðlar hafa efri mörk á styrk steypu frá 55 til 65 MPa, þó hafa Norðmenn⁷⁾ (C 105) og Finnar⁸⁾ (K 100) nú nýlega tekið með styrkleikaflokka að 105 MPa. Engin ákvæði eru í íslenskum staðli um hástyrkleikasteypu.

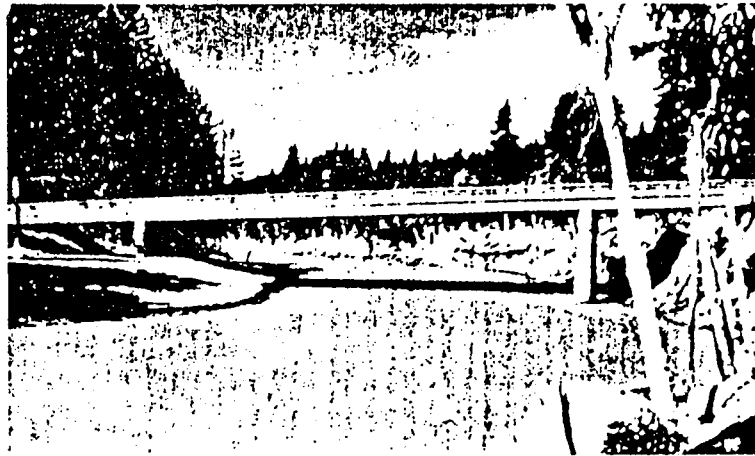
Kostir HSS eru margvislegir og hægt er að nefna:

- Grennri þversnið (háhyli, brýr, lónaðarhús, ...)
- Lengri höf (brýr, lónaðarhús,...)
- Aukið slitþol (vegir, brýr, gólf,...)
- Mótstöðu gegn grotnun (gegn frosti, salti og kolsýringu,...)
- Nýjar byggingartæknilegar lausnir (mannvirki er falla inn í umhverfið, neðansjávargöng, ...).
- Aukna hagkvæmni (þá einkum vegagerð og brúargerð).

Steinsteypu má skipta í mismunandi styrkleikaflokka á eftirfarandi hátt m.t.t. þrýstipól:

- | | | |
|------------------------|--------|-----|
| - Venjulega steypu: | 20-55 | MPa |
| - Hástyrkleikasteypu: | 55-85 | MPa |
| - Sérlega sterk steypu | 85-120 | MPa |
| - "Supersteypu". | >120 | MPa |

Nær öll steypugerð hér á landi hefur til þessa flokkast í venjulega steypu, en algengasti flokkurinn er 20-40 MPa.



MYND 1 Brúarvirki úr HSS (S650), grønn þversnið falla betur inn í umhverfið

Markmið þess verkefnis sem hér er greint frá er eftirfarandi samkvæmt verklýsingu:

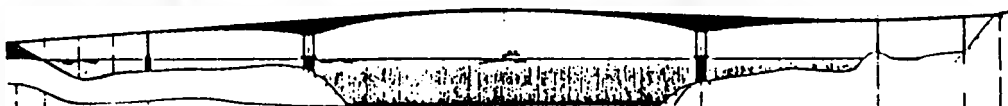
1. Rannsaka hvort unnt sé að framleiða "hástyrkleikasteypu" með íslenskum fylliefnum.
2. Finna hvenær kröfur til fylliefnis eru orðnar ráðandi um þann styrk sem næst.
3. Kanna hversu miklum styrk er unnt að ná með því að vinna fylliefni úr gæðabergl.
4. Benda á notkunarsvið fyrir hástyrkleikasteypu.

2. NOTAGILDI HSS

2.1 Brúargerð

Við brúargerð, einkum við lengri brýr, er elgínþyngd steypunnar eitt aðalburðarálagið. Þetta takmarkar verulega mögulega lengd brúarinnar ásamt því að þversniðin verða oft mjög efnismikil. Með tilkomu HSS er verulega hægt að lengja haf brúa. Lengsta fría haf brúar, u.þ.b. 260 m, var gert árið 1988^[19]. Helgelands brúin í Noregi sem verið er að ljúka, hefur 390 m fritt haf. Hér er notuð S850 steypa í aðalburðarvirki og S600 léttsteypa (rúmpþyngd u.þ.b. 1900 kg/m³) í miðju hennar. Mynd 2 sýnir skissu af brúnni.

Helgeland Bridge has a main span of 390 metres, a real superspan!



MYND 2 Helgelandsbrúin^[19] í Noregi. Aðalburðarvirki er úr S900 HSS og S600 léttsteypu

Á forsiðu þessarar skýrslu er tillaga* að fyrirhugaðri brú yfir Ellidavog. Hér er áætlað að nota HSS til að hægt sé að notast við grennri þversnið. Nota mætti mismunandi gæði á steypunni eftir því hvar hún á að notast. T.d. væri hægt að nota S1000 í stöpla (súlur) og slitlag, S800 í burðarbita þar sem kraftvægi er verulegt, en annars S600.

Annað dæmi sem sýnir hvernig hægt er að nýta HSS í brúargerð, þannig að mannvirkið verði ekki of þunglamalegt, er sýnt á mynd 1. Brú þessi er yfir Toutle ána í Washingtonfylki í Bandaríkjunum. Hér er valin HSS til að fá grennri þversnið, minna skrið/rýrnun og ekki síst betri endingu.

Mörg dæmi um notkun/kostli HSS í brúargerð eru gefin í heimild [20]. Þar eru einnig mörg önnur dæmi um notkun HSS.

*Myndin er fengin hjá Rikharði Kristjánssyni, (Línuhönnun hf).

2.2 Vegagerð

Sökum þess að slitstyrkur HSS er mjög mikill, hafa skapast nýir möguleikar í vegagerð. Slitþol S1000 steypu úr gæðabergi er um eða yfir þrefalt miðað við S400 (sjá kafla 5.3.3 um slitþol) og myndi því henta vel á vegi með ÁDU* u.þ.b. 5000 og meira. Norskar rannsóknir sýna að HSS (úr gæðabergi) getur haft allt að 10 sinnum meira slitþol en malbik úr gæðabergi^[21]. Erfitt væri með íslenskum efnum að ná svo góðu slitþolshlutfalli. Yfirgnæfandi líkur eru þó á að hægt sé að gera slitlag úr HSS úr íslenskum efnum á veg með mikilli umferð (ÁDU u.þ.b. 9000), þannig að viðhald verði nánast ekkert í 30 ár. Erfitt er að skilgreina endingu** eða flnna-mæliaðferð til að áætla hana. Eina aðferðin sem hefur reynst áreiðanleg hér á landi er að gera tilraunakafla og mæla endingu hans. En því miður tekur langan tíma að fá niðurstöður úr slíkum tilraunum ef slitlöglin eru góð. Ein könnunin^[22] gaf til kynna að ending vega úr hefðbundinni steypu var um eða yfir 20 ár og malbiks 10 til 15 ár. En það er öruggt að HSS getur haft verulega (u.þ.b. 3 til 5 sinnum) meira slitþol en steypa úr hefðbundnum fylliefnum (S300).

Kostnaðaráætlun [23] frá árinu 1986 sýnir að hagkvæmt getur verið að nota venjulega steypu á vegi með ÁDU 8000 eða meira, sé reiknað með 20 ára tímabili. Á sumum stofn- og tengibrautum á Reykjavíkursvæðinu er ÁDU 16000 eða meira. Kostnaðarmismunur á framleiðslu S350 steypu úr venjulegum fylliefnum og HSS (S1000) úr gæðabergi***, gefinn upp af steypustöð á Reykjavíkursvæðinu, mun vera u.þ.b. 80%. Ef reiknað væri með að slitlag úr HSS væri 20% þynnra en lag úr venjulegri steypu og lagning HSS væri 20% dýrari (sökum strangara eftirlits), myndi stofnkostnaður vera 34% hærri á hvern m² slitlags með HSS (S1000) en með venjulegri steypu. Sé aftur á móti notað hefðbundið fylliefni í HSS (S800), fæst 2 til 3 sinnum meira slitþol en með venjulegri steypu, en samt myndi stofnkostnaður með S800 verða álíka mikill (<1%) á hvern m² og venjuleg steypa þar sem þykkt steypunnar yrði 20% minni (og lagningin 20% dýrari). Hægt er að gera eftirfarandi kostnaðaráætlun (í %) út frá útreikningum í kafla 5 í heilmild [23] (ÁDU = 8000):

*ÁDU: Álagsumferð er fjöldi bíla sem fer um ákveðinn veg á sólarhring (að meðaltali yfir árið).

**Hægt er að nota SPS ("Spesífika belegningsslitlaget", slit í grómmum eflir bil á fjórum negldum dekkjum sem ekur 1 km) eða "krittisk" hjólfaradýpt.

***Gæðaberg er u.þ.b. 160% dýrara en hefðbundið fylliefni og í viðbót kemur kostnaður sökum þess að það þarf að sérhanna efnið. Tæknilega séð er hægt að framleiða frostþolna S800 steypu sem er aðeins 10 til 20% dýrari en S400 úr hefðbundnum fylliefnum, en þá er slitþolið þó nokkuð lakara en við notkun gæðabergs.

| | V.steypa | Malbik RVK | Malbik Vr | 8800 | 81000 |
|-------------|----------|------------|-----------|------|-------|
| Stofnkostn. | 100% | 80% | 92% | 100% | 134% |
| 20 ára | 120% | 112% | 135% | 100% | 134% |
| 40 ára | ? | ? | ? | ? | 134% |

Taka verður þessar tölur með fyrirvara, en ætla má að hægt sé að ná verulegum sparnaði með notkun HSS í vegagerð. Nú er ekki í þessum samanburði tekið tillit til að farið er að nota gæðaberg í malbik, en það malbik er að öllum líkindum mun dýrara en hér er reiknað með. Fylliefnakostnaður er 26% í steypu, þannig að dæmið þarf ekki að breytast mikið við tilkomu "gæða-malbiks". Ef notað er sama gæðaberg þá má ætla að hægt sé að framleiða HSS með 5 til 8 sinnum lengri endingu miðað við malbik. Þetta þýðir verulegan sparnað og þægindi fyrir vegfarendur (færri lokanir) á umferðarmiklum stöfn- og tengibrautum með ÁDU um og yfir 11000.

Einn aðalkostur við notkun HSS í vegagerð er að hún er frostþolin án loftblöndunar, en hefðbundin steypa S300 verður að hafa töluvert loft. Loft í steypu minnkar verulega slítpolið.

2.3 Einingaframleiðsla

Bæði frá hagkvæmnisjónarmiði og framleiðslu eru möguleikar HSS hvað mestir í einingaframleiðslu. Ekki síst m.t.t. frostþols utanhússelninga, en mjög litill munur er á sementsmagni við framleiðslu á frostþolinni S400 og S800 steypu úr hefðbundnum fylliefnum.

Hægt er að auka verulega haf forspenntra bita og rifjaplatna með HSS. Þetta kæmi sér vel í gerð iðnaðarhúsa og bílastæða, þar sem súlur eru oft óæskilegar. HSS eða létt hágæðasteypa hentar einnig vel í gerð fiskeldiskera.

Kostur við einingaverksmiðjur er, að hægt er að hafa miklu betra eftirlit með framleiðslunni auk þess sem þjálfing er ekki mikið vandamál. Áætla má að framleiðendur hér á landi þurfi að fjárfesta örlítið í bættum tækjakosti áður en þeir hefja framleiðslu HSS.

2.4 Raflínur

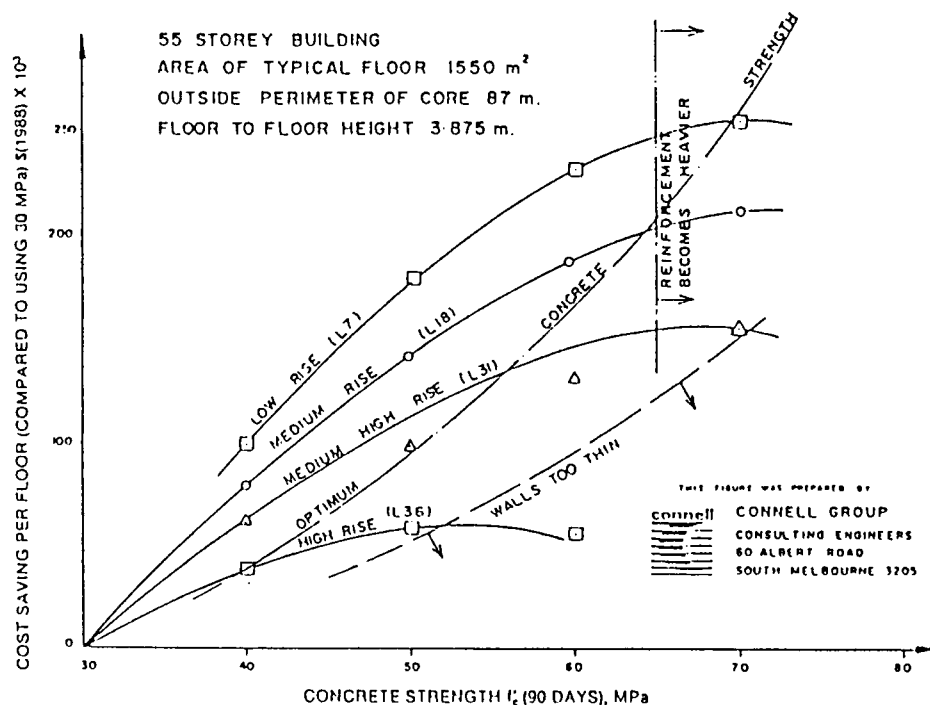
Settar hafa verið fram hugmyndir að staurum í raflínur sem byggjast á því að tengja saman notkun HSS og uppspennu utan steypu (ásamt notkun tresjasteypu). Þessar hugmyndir eru í þróun.

2.5 Hafnarmannvirki

Aðalkostur við notkun á HSS í hafnarmannvirki er ekki sjálfur styrkurinn, heldur aukin í ending steypunnar. Betra væri að kalla steypuna hér *hágæðasteypu* í stað HSS. Veðrunarþol HSS er svo miklu meira en í hefðbundinni steypu, og þá einkum með tilliti til "saltísogs", frostþols og vatnspöttleika.

2.6 Húsagerð

Í húsagerð hefur HSS aðallega verið notuð í háhýsi. Þar háfa Bandaríkjamenn og Japanir verið fremstir, en einnig má nefna Norðmenn og Ástralíumenn. Sem dæmi frá Ástralíu^[24] má nefna 55 hæða byggingu, Melbourne Central, þar sem hagkvæmniathuganir sýndu að hægt var að spara allt að \$200.000 á hverja hæð við að auka styrk steypunnar úr 30 MPa (S300) í 65 MPa (S650), sjá mynd 3. Sparnaðurinn varð m.a. af mun minni járnbindingu.

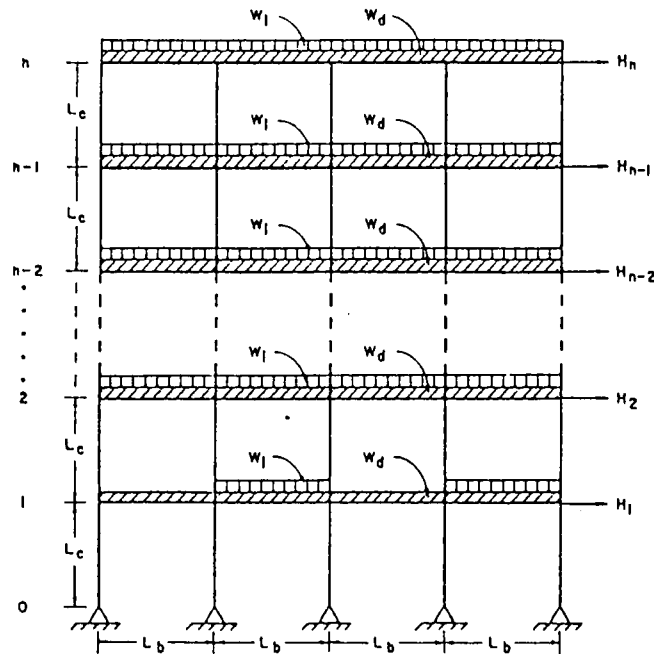


MYND 3 Sparnaður (í \$1000) á hverja hæð (miðað við S300), sem fall af styrk [24] í Melbourne Central. Kostnaðarmatið leiddi í ljós að hagkvæmast var að nota u.þ.b. S650

Að auki fengust 4 m² aukið gólfpláss á hverja hæð sökum þess að veggir urðu þynnri. Ekki var hagkvæmt að nota sterkari steypu en S650, þar sem það hafði í för með sér aukna járnþvingu. Við byggingu háhýsa eru verulegar fjárhæðir í húsi, hér er t.d. verið að tala um yfir \$5.000.000,- sparnað við að auka steypustyrk úr S400 í S600.

Litlar líkur eru þó á því að hér verði byggðir skýjakljúfar, þannig að hér á eftir verður miðað við 5 hæða hús og lægri.

Hinni fjárlagslegi hagnaður kemur aðallega fram í gerð súlna, þar sem sparnaður getur orðið allt að helmingur með notkun HSS. Fyrst verður skoðuð bandarísk könnun^[24], þar sem gert er kostnaðarmat á framleiðslu súlna í 5 hæða húsi. Hér er tekið tillit til flestra, ef ekki allra þátta í framleiðslunni allt frá verði á steypuvinnu, steypu, járn, járnaldgn og mótasmíði svo eitthvað sé nefnt. Hér er matið gert á þeirri forsendu að því sterkari steypa sem notuð er í súlur, þeim mun minna þarf af járn (en ekki grenni þversnið).

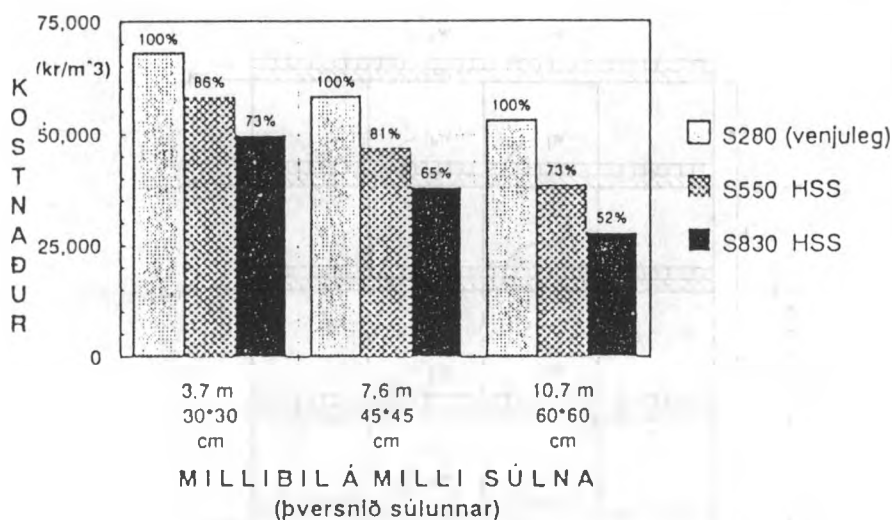


W_d - UNIFORM DEAD LOAD
 W_l - UNIFORM LIVE LOAD
 H_x - LATERAL LOAD APPLIED TO LEVEL "x"
 L_b - WIDTH OF THE BAY
 L_c - STORY TO STORY HEIGHT
 n - LEVEL OF THE STRUCTURE

MYND 4 Burðarþolsramminn^[24] sem var notaður við kostnaðarmatið

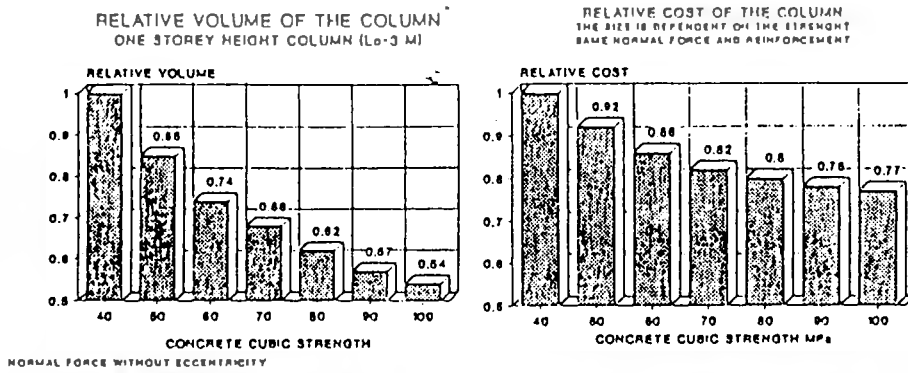
ACI nefnd^[25] nr. 363 birtí kostnaðarmat, þar sem fram kemur að mestur sparnaður næst með því við að minnka járnþvingu í stað þess að nýta HSS til að fá grennra þversnið. Mynd 4 sýnir burðarþolsrammann sem notaður var við útreikningana. Þar er einnig gefið kostnaðarmat á 15 hæða blokk, þar sem kostnaður fer allt niður undir 40% við notkun HSS, en um það verður ekki fjallað hér.

Á mynd 5 eru gefin þrjú dæmi: Þjarlægð milli súlna er breytileg eða 3,7 m, 7,6 m og 10,7 m. Þversnið súlnanna er 30x30 cm við 3,7 m, 45x45 við 7,6 m og 60x60 cm við 10,7 m þjarlægð. Hæð allra súlnanna er 3,7 m (sjá nánar í heilmild^[25] um forsendur kostnaðarmatsins). Þar sem þjarlægð á milli súlna er 3,7 m sparast 27% við að nota HSS (S830) miðað við S280 og jafnframt, sparast 48% þegar þjarlægðin er 10,7 m. (Varast ber að líkja dæmunum með hinum ýmsu þjarlægðum saman, þar sem heildarþreidd húsananna verður breytileg eða (4 x 3,7) um 15 m, (4 x 7,6) 30 m og (4 x 10,7) 43 m). Af þessu sést að hægt er að spara verulega við notkun HSS.



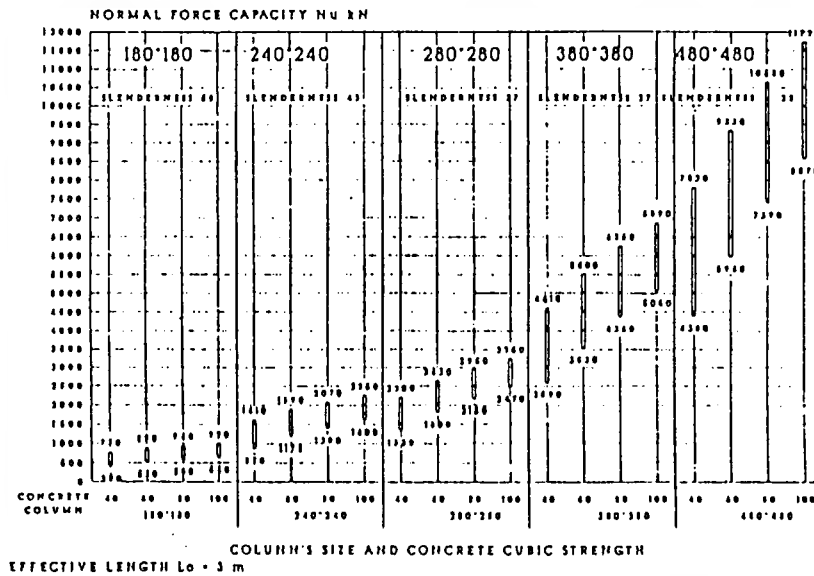
MYND 5 Þrjár kostnaðaráætlanir fyrir súlur í fimm hæða hús, þ.e.a.s með þversnið a) 30 x 30 cm (haf = 3,7 m), b) 45x45 cm (haf = 7,6 m) og c) 60 x 60 cm (haf = 10,7 m)

Önnur könnun sem gerð var í Finnlandi sýnir að með því að auka styrkinn frá u.þ.b. S350 (K40) í S950 (K1000), má minnka rúmmál súlna (hæð: 3 m) niður í 52% og heildarframleiðslukostnaðinn niður í 77%. Mynd 6 sýnir hvernig rúmmál og hlutfallslegur kostnaður breytist við að auka styrk steypunnar. Mynd 7 sýnir burðargetu 3 m súlna sem fall af styrk, breidd og lágmarks og hámarks járnþvingu. Fram kemur á myndinni að HSS nýttist því betur sem súla er breiðari.



MYND 6 Hlutfallslegt rúmmál og kostnaður við gerð 3 m súlu þegar styrkur steypunnar er aukinn. Álag og járnþing er sama (mat miðað við brunaflokk A60, 60 mín)

**CAPACITIES OF COLUMNS
WITH MINIMUM ... MAXIMUM REINFORCEMENTS
CONCRETE GRADES K 40 ... K 100**



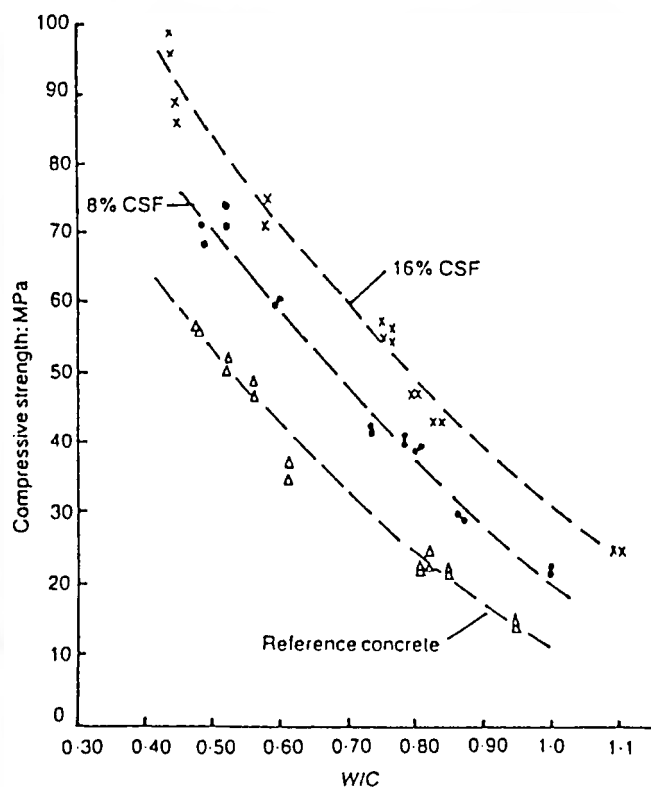
MYND 7 Burðarþol súlna/staura með mín. og max. járnþingingu sem fall af styrk

3. EFNISEIGINLEIKAR

3.1 Sement og kísilryk

Í HSS er æskilegt að í sementinu sé sem minnst af álsamböndum (C_3A), frekar mikið af Belít (C_2S) og að það sé frekar finmalað ($Blaine > 4000 \text{ cm}^2/\text{g}$). Einnig er æskilegt að Ferrít (C_4AF) innihaldið sé frekar lítið. Mikilvægast af öllu er þó að gæði sements séu jöfn, þar sem HSS er mjög viðkvæm fyrir breytingum.

Kísilryk hefur eins og kunnugt er mjög jákvæð áhrif á styrkleika steypu. Það er jafnvel hægt að fullyrða, að helsta forsenda þess að hægt sé að framleiða HSS með íslenskum fylliefnum, sé að kísilryk sé notað í steypuna. Taka verður tillit til þess að kísilryk getur verið mismunandi að gæðum en það er æskilegt að SiO_2 innihald sé eins mikið og mögulegt er, eða minnst 94%. Mynd 8 sýnir áhrif kísilryks [9] og v/s-tölu á þróun styrks.



MYND 8 Áhrif kísilryks á þróun styrks[9]