

### 547. Tillaga til þingsályktunar

um notkun steinsteypu til slitlagsgerðar.

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

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 5–8 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 gjaldeyrisparandi 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 steyptra 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 steyptra 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 hérlendis, steypustöðvar, efnisvinnsla, sementsverksmiðja.

- Minni eldsneytisnotkun (10–20%) einkum vegna harðara yfirborðs steypu og minna vatns í hjólförum.
- Minni efnamengun vegna slitryks.
- Að jafnaði grynri 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 I.

Háskóli Íslands,  
Páll Jensson:

**Á að gefa steypu tækifæri í gatna- og vegagerð?**  
Erindi flutt á steinsteypudegi, 12. febrúar 1993.

**Aðdragandi**

Árið 1987 kom út á vegum Rannsóknastofnunar Byggingar-  
iðnaðarins (RB) skýrsla starfshóps undir forystu Hákonis Ólafssonar  
og fjallaði hún um *Hagkvæmni mismunandi slitlaga* (1). Þar kom  
m.a. fram að tiltölulega lítil munur væri á því hvort steypa eða  
malbik væri hagkvæmari kostur sem slitlag á götur og vegi. Steypa  
var álitin hagkvæmari ef umferð er yfir vissu marki. Í fyrra kom  
svo út skýrsla Ólafs Wallevik og Karsten Iversen (2) um steypu af  
mjög háum styrkleika (HSS) úr íslenskum efnum. Þar segir m.a.:

"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."

Ólafur og Karsten gerðu hins vegar ekki tilraun til að meta  
hagkvæmni steypu sem slitlags, enda voru rannsóknir þeirra af  
tæknilegum toga en ekki hagrænum.

Í framhaldi af þessu hafði Pétur Ingólfsson, formaður Steinsteypu-  
félagsins samband við mig og bað mig að líta á hagræna þáttinn og  
greina frá þeirri athugun á Steinsteypudegi, eða nánar tiltekið var  
spurt:

*Hvernig breytir það niðurstöðum samanburðarins frá 1987 á  
hagkvæmni malbiks og steypu sem slitlags, ef við gefum  
okkur að kenning Ólafs og Karsten sé rétt hvað varðar  
eiginleika HSS.*

Auk þess að hafa frumkvæði að athugun þeirri, sem hér verður  
greint frá, útvegaði Pétur allar heimildir og nauðsynleg gögn og  
túlkaði þau fyrir mig ásamt öðrum sérfróðum mönnum um slitlög,  
og kann ég þeim og Pétri bestu þakkir fyrir.

## Viðfangsefnið

Fjárhagslegur ávinningur þjóðarinnar af hagkvæmari slitlögum, ef þau finnast, er mikill. Nærri mun láta að einn milljarður fari á ári í lagningu og viðgerðir slitlaga á götum og vegum, á vegum sveitafélaga og Vegagerðarinnar. Hver hundraðshluti sparaður þýðir því 10 milljónir á ári, svo það er vissulega þess virði að spara ekki til rannsókna á þessu sviði.

Viðfangsefnið er þó mun margþættara en svo að eingöngu sé hægt að skoða kostnað við lagningu og viðhald. Hér á eftir fer samantekt á helstu atriðum sem talin eru skipta máli þegar malbik og steypa eru borin saman, og er þá stuðst við heimildir (4) til (7).

### Með steypu mælir:

- + Meiri ending og því minna viðhald, ekki síst við álag nagladekkja.
- + Minni erlendur kostnaður, kostnaður óháðari olíuverði (sem er nálægt 10% af stofnkostnaði malbiks-slitlags).
- + Fleiri störf hérlendis, m.a. hjá Sementsverksmiðjunni.
- + Minni eldsneytisnotkun (10 - 20 % ?), einkum hjá þungum bílum, bæði vegna mýktar malbiks og vatns í hjólförum.
- + Minni efnamengun vegna slitryks.
- + Að jafnaði grynna hjólför, og því færri slys (?).
- + Meiri birta, minni kostnaður við lýsingu, m.v. dökk innlend efni í malbiki (?).

### Með malbiki mælir:

- Lægri stofnkostnaður.
- Meiri sveigjanleiki, t.d. er uppbygging í þrepum möguleg.
- Meiri akstursþægindi vegna mýktar (þó vega hjólför á móti).
- Minni hávaði.

## Greining og afmörkun

Á þeim skamma tíma sem ég gat gefið mér til þessarar athugunar gafst ekki kostur á að rannsaka nánar allar þessar "víddir" viðfangsefnisins. Það skiptir þó miklu máli að átta sig á því að markmiðið eða markfallið er margvitt og að fleira kemur við sögu en hagræn sjónarmið. Hugsum okkur til dæmis að mikil áhersla sé af hálfu stjórnvalda lögð á lausnir, sem sameina eftirfarandi markmið:

1. Skapa fleiri störf í landinu.
2. Eru umhverfisvænar.
3. Auka öryggi og fækka slysum.

Þá er ljóst að ef mjótt er á munum hvað hagkvæmni varðar, eins og í áðurnefndri skýrslu frá 1987 (1), mætti vel hugsa sér að stefnan yrði tekin á steypu sem slitlag á mikið eknar götur ( $\text{ÁDU} > X$ ). Gallinn er sá að mér vitanlega hafa íslensk stjórnvöld aldrei gert tilraun til að forgangsraða slíkum markmiðum, þegar um vegagerð og hliðstæða mannvirkjagerð er að ræða, eða til að meta hve miklu mætti fórnin í hagkvæmni til að ná tilteknum árangri í að nálgast markmiðin.

Þótt leiðarljós stjórnvalda vanti skulum við skoða hagrænu hliðina nánar, og byrja á að greina og flokka kostnaðarþætti þá, sem við sögu koma, og athuga hverjir bera þá:

1. Stofnkostnaður Ríkið (Vegagerðin), sveitarfélög
2. Viðhaldskostn. Sömu aðilar, en á öðrum tímum (öðrum kjörtímabilum!)
3. Kostn. notenda Einstaklingar og fyrirtæki að mestu (eldsneyti,tafir,tjón á bílum,...)
4. Annar kostn. "Samfélagið" (slys á fólki, mengun)

Þessi greining vekur ýmsar spurningar varðandi ákvarðanaferli vega- og gatnagerðar. Er tryggt að summa allra þessara kostnaðarþátta, óháð því hver ber kostnaðinn, sé ávallt lágmörkuð þegar ákvarðanir eru teknar m.a. um val á slitlagi? Er hugsanlegt að stjórnskipulag okkar og ferlið, þegar fjárveitingar eru ákveðnar, leiði til þess að hugsað sé til of skamms tíma? Þótt þjóðfélagslegur ábati af góðum samgöngum sé áreiðanlega mikill og líklega oftast vanmetinn, þá vekur það umhugsun hve mikla áherslu ráðamenn leggja á að ná sem flestum kílómetrum í vega- og gatnagerð fyrir fjárveitingu ársins, eða á kjörtímabilinu.

## Hagkvæmniathugun, aðferðafræði

Hér á eftir munum við einskorða okkur við tvo fyrst nefndu kostnaðarliðina, þ.e. stofnkostnað og viðhaldskostnað. Við gefum okkur eftirfarandi forsendur til einföldunar:

- að fyrir dyrum sé lagning slitlags á "varanlegum" vegi, t.d. 30 km löngum, og standi valið milli steypu og malbiks
- að undirlag sé eins í báðum tilvikum (sami kostnaður)
- að búnaður til að leggja steypu sé fyrir hendi hér á landi

Hvað álag varðar munum við skoða ÁDU (ársdagsumferð, þ.e. meðalumferð á sólarhring yfir allt árið) frá 3.000 til 15.000 bílar á sólarhring.

Sem samanburðartímabil eða líftíma vel ég 40 ár og hrakvirði að þeim tíma liðnum er ekkert. Reiknivextir eru hér 6%, en nefna má að í heimildum (4) til (7) eru þeir oftast á bilinu 5 - 7% í hliðstæðum athugunum t.d. á Norðurlöndum.

Í sömu heimildum er oftast reiknað með 20 - 40 ára tímabili og hrakvirði að því loknu. Í skýrslu starfshópsins frá 1987 (1) voru reiknivextir 7% og líftími 20 ár, og var reiknað bæði með og án hrakvirðis, sem var 10% af stofnkostnaði.

Þegar um opinberar framkvæmdir er að ræða er gjarnan notað svokallað *ábatakostnaðar hlutfall* (Benefit/Cost Ratio) við samanburð mismunandi kosta, sjá heimild (8). Í okkar tilviki gerum við til einföldunar ráð fyrir að ábati notenda sé hinn sami hvort sem steypa eða malbik er notuð í slitlag. Verkefni okkar er því að bera saman kostnað tveggja kosta, og til þess munum við reikna *núvirði* sem og *innri vexti* (afkastavexti) af mismun kostanna tveggja.

*Mismunaaðferðin* felur í þessu tilviki í rauninni í sér að spurt er hvort sparnaður sá, sem næst í viðhaldi ef steypa er valin, réttlætir viðbótar stofnkostnað steypu umfram malbik, eða hvort því fé væri betur varið á reikningi sem bæri 6% vexti.

## Tölulegar forsendur

Tölulegar forsendur eru að hluta byggðar á forsendum starfshópsins frá 1987 (1), en flestar eru þær forsendur þó endurmetnar, samanber heimild (3) og uppgefnar tölur um malbik frá Gylfa Ástbjartssyni hjá Vegagerð Ríkisins, og tölur um steypu frá Sérsteypunni sf, sem hún lét Nordisk Vejbetong og Krafttak hf meta.

Um þessar forsendur má auðvitað lengi deila, og þá einkum hve fljótt og hversu títt slitlag þarf á viðhaldi að halda. Líta verður á þær forsendur, sem hér eru notaðar, sem *umræðugrundvöll* en ekki sem stóra sannleik, enda verður leitast við að sýna næmni niðurstaðna m.t.t. þeirra.

### Malbik:

Eftirfarandi kostnaðartölur eru gefnar upp af Gylfa Ástbjartssyni hjá Vegagerðinni nema kostnaður við viðgerðir, sem er metinn með hliðsjón af skýrslunni frá 1987 (1), sem og ending og viðhaldspörf.

|   |                                  |
|---|----------------------------------|
| Stofnkostnaður án undirlags<br>(tvö lög, 6 cm + 4 cm) | 2.041 kr/m <sup>2</sup>          |
| Yfirlögn  | 1.128 kr/m <sup>2</sup>          |
| Viðgerðir frá 5. ári frá (yfir)lagningu               | 25 kr/m <sup>2</sup>             |
| Ending, tíðni yfirlagna:                              | ÁDU:      Ár:                    |
|   | 3.000      17, 32                |
|   | 5.000      11, 20, 29, 38        |
|   | 8.000      8, 14, 20, 26, 32,38  |
|   | 10.000      7, 12, 17, 22, 27... |
|   | 15.000      5, 9, 13, 17, 21...  |

Hér er reyndar byggt á mjög ströngum kröfum um yfirlagnir vegna spordýptar hjólfara, en í því sambandi skal minnt á áður nefnda kostnaðarpætti, sem ekki er tekið tillit til hér, þ.e. kostnað notenda (m.a. eldsneyti) og kostnað samfélagsins (m.a. slys á fólki), sem rekja má til hjólfara. Þetta má orða þannig að gerðar eru sem næst sömu kröfur til malbiks og steypu hvað hjólför varðar yfir 40 ára líftíma.

**Steypa:**

Mat á stofnkostnaði steypu án undirlags er miðað við þykkt 195 mm + 25 mm fyrir hverja fræsun sem búast má við á 40 ára tímabili.

Matið er byggt á uppgefnum tölum frá Sérsteypunni sf, sem bað eins og áður sagði Nordisk Vejbetong og Krafttak hf um að meta þær. Þær eru þó hækkaðar hér um u.þ.b. 25%. Er það gert til að útreikningar verði af varfærnara taginu, en alls ekki vegna vantrausts á matið í sjálfu sér, sem virðist þvert á móti vera vel og ítarlega unnið.

| ÁDU:   | Fræst ár: | Stofnkostnaður:         |
|--------|-----------|-------------------------|
| 3.000  | -         | 3.000 kr/m <sup>2</sup> |
| 5.000  | -         | 3.000 kr/m <sup>2</sup> |
| 8.000  | 27        | 3.200 kr/m <sup>2</sup> |
| 10.000 | 21        | 3.200 kr/m <sup>2</sup> |
| 15.000 | 15,28     | 3.400 kr/m <sup>2</sup> |
|        | Fræsun    | 1.962 kr/m <sup>2</sup> |

Rétt er að geta þess að kostnaður við fræsun er fenginn frá Gylfa Ástbjartssyni hjá Vegagerðinni, og er hann mun (u.þ.b. þrefalt) hærri en framreiknaður kostnaður skýrslunnar frá 1987.

Ofangreindar forsendur um endingu steypu eru nokkuð varfærnari en í skýrslu Ólafs og Karsten frá 1992 um hástyrkleikasteypu (2).

Hvað stofnkostnað steypu og malbiks varðar er hér reiknað með að steypan sé nálægt 50 % dýrari en malbik, en á Norðurlöndum virðist þetta hlutfall vera nær 30 %, samanber t.d. heimildir (4) og (7).



## Niðurstöður

Í viðauka er að finna töflur sem lýsa nánar forsendum um endingu og viðhald. Viðaukinn inniheldur svo línurit um niðurstöður útreikninga á núvirði og innri vöxtum mismunarfjárfestingar steypu og malbiks, og hvernig þessir mælikvarðar breytast með umferðarálagi, þ.e. ÁDU.

Sérstaklega er sýnt hvernig núvirtur kostnaður hleðst upp yfir líftíma slitlaga fyrir tilvikið ÁDU = 8000 bílar á sólarhring. Ennfremur eru þar línurit sem sýna næmni niðurstaðna m.t.t. stofnkostnaðar, kostnaðar vegna viðhalds og reiknivaxta.

Línuritin í viðaukanum tala sínu máli og þarfnast vart frekari skýringa við. Minnt skal á þá fyrirvara sem settir hafa verið og forsendur þær sem við höfum gefið okkur hér. Til dæmis er ekki gert ráð fyrir að malbikið sé lagt í þrepum eins og algengt er m.a. hjá Reykjavíkurborg. Á hinn bóginn hafa forsendur um steypu verið metnar af varfærni.

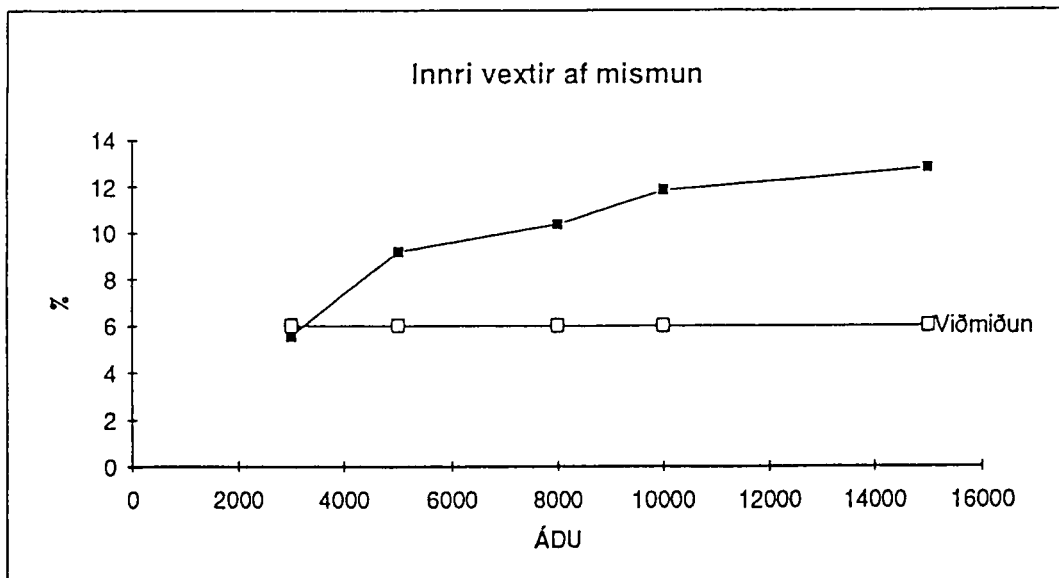
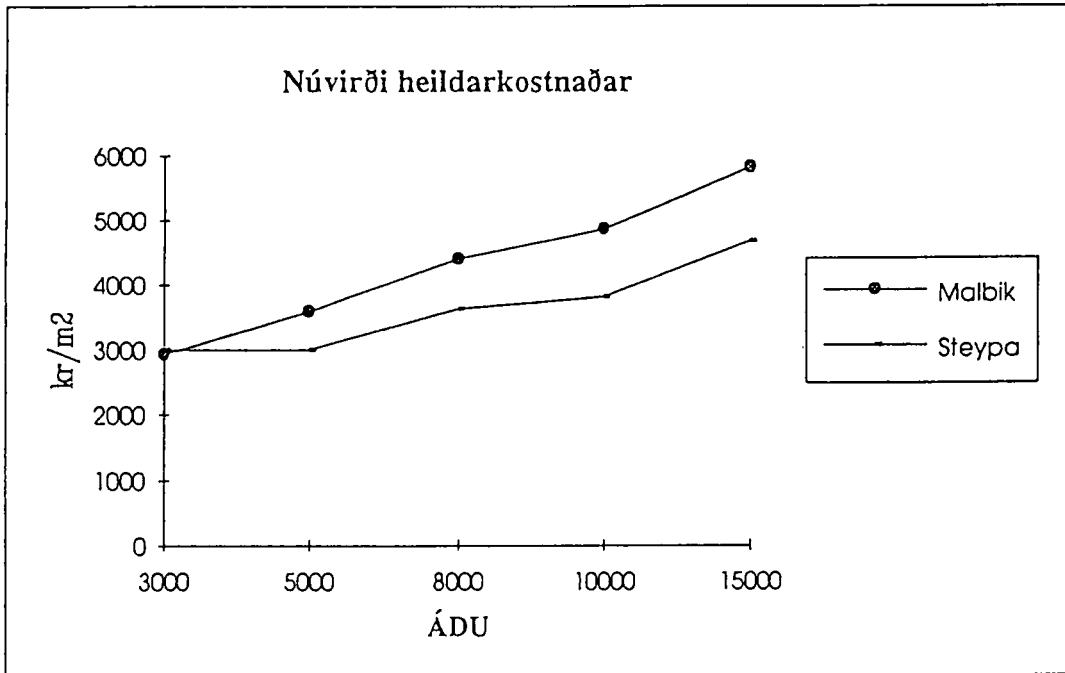
Í heild verður því að segjast að *ef þær forsendur sem hér er gengið út frá um endingu hástyrkleikasteypu (HSS) miðað við malbik standast, þá er vissulega tímabært að gefa steypunni tækifæri*, þegar leggja skal slitlög á götur og vegi með mikilli umferð.

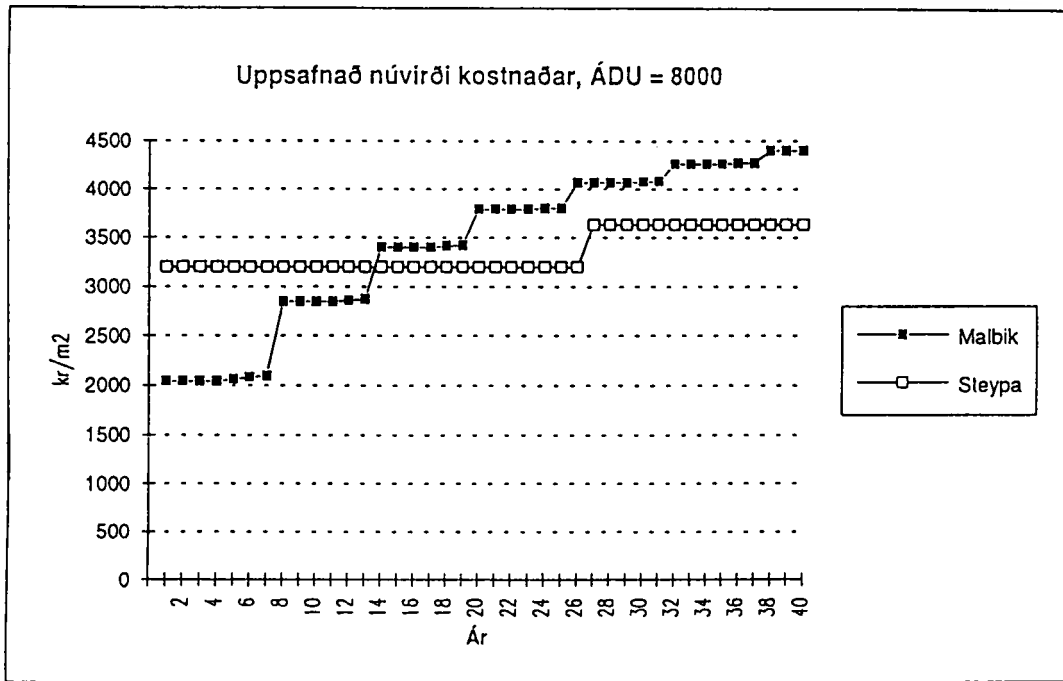
Þetta á ekki síst við í þéttbýli eins og á höfuðborgarsvæðinu, þar sem umferð er víða á bilinu ÁDU = 8.000 - 20.000. Víða á vegum úti á landi er umferð hins vegar svo lítil að steypa kemur vart til greina. Hér skal áréttað að ekkert hefur í þessari athugun verið litið á aðrar gerðir slitlaga en steypu og malbik.

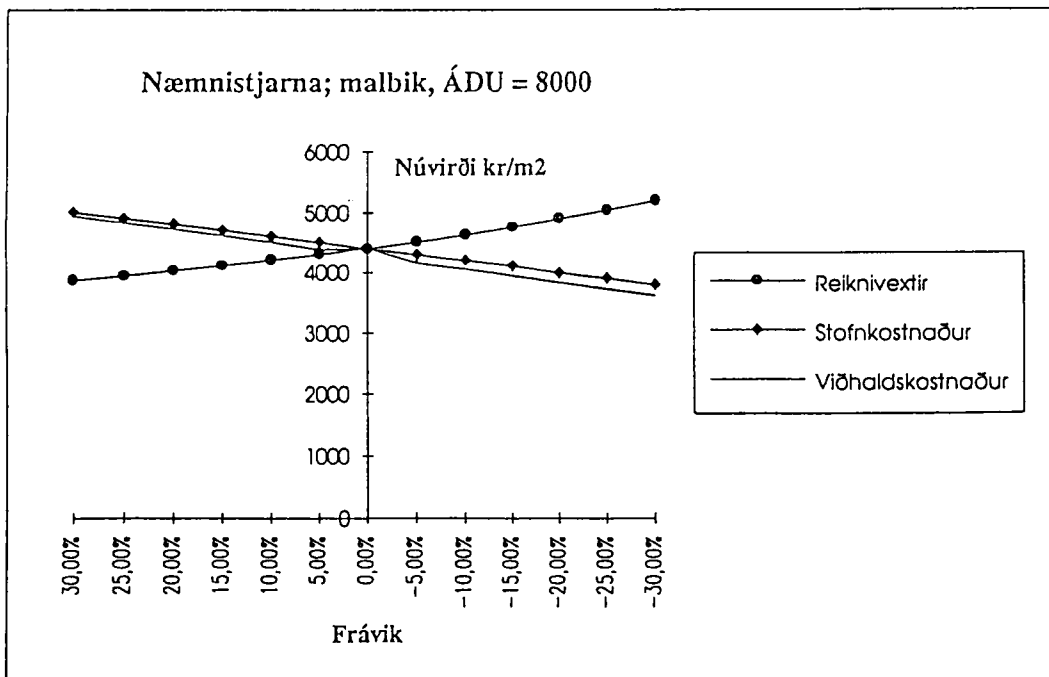
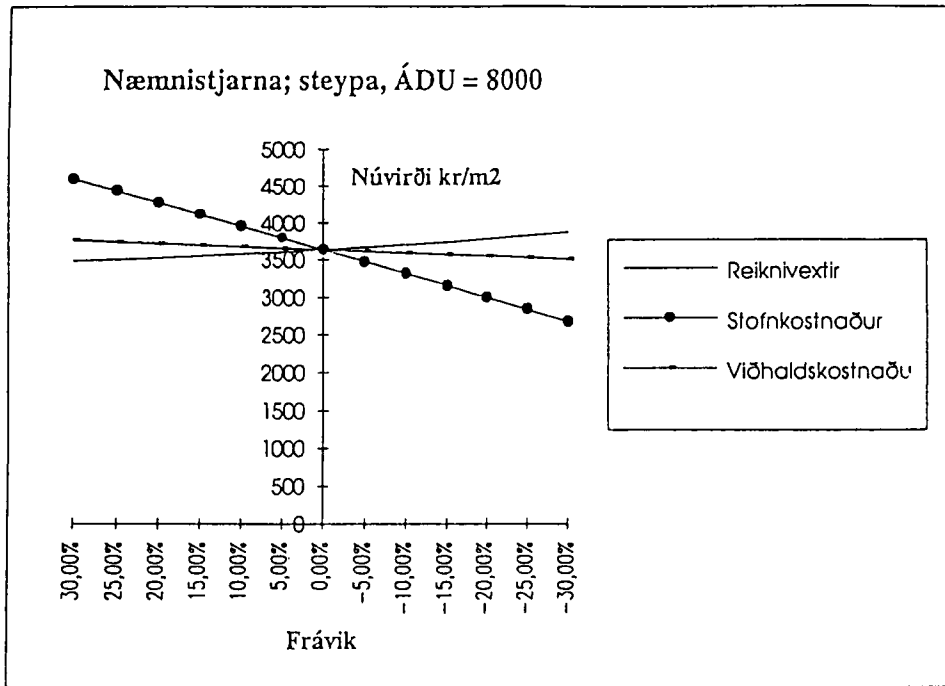
Að minnsta kosti gefur skýrsla Ólafs Wallevik og Karsten Iversen frá 1992 (2) ásamt þessari stuttaralegu athugun að mínu mati fyllilega tilefni til að *gerð verði ítarleg úttekt á steypu sem slitlagi*. Líklegast er að hér á landi verði í framtíðinni bæði steyppt og malbikuð slitlög en ekki annað hvort. Og vel má vera að samkeppni frá steypunni verði til þess að kostnaður við malbikun lækki og væri það vel.

## VIÐAUKI

Núllpunktsgreining með tilliti til umferðar.







## Samanburður á steypu og malbiki í sliflag

|                    |       |            |                        |                    |                        |          |
|--------------------|-------|------------|------------------------|--------------------|------------------------|----------|
| Helstu forsendur : |       | Malbik     |                        | Steypa             |                        |          |
| Vextir             | 6,00% | Stofnkostr | 2041 kr/m <sup>2</sup> | Stofnkostr         | 3000 kr/m <sup>2</sup> | (195 mm) |
| Líftími, ár        | 40    | Yfirldgn   | 1128 kr/m <sup>2</sup> | Fræsun             | 1962 kr/m <sup>2</sup> |          |
| Hrakvirði          | 0     | Viðgerðir  | 25 kr/m <sup>2</sup>   | Viðbót v/ fræsunar | 200 kr/m <sup>2</sup>  |          |

(frá 5. ári)

## Forsendur um endingu og viðhald:

| ÁDU = 3000 |        |           |          |      | ÁDU = 5000 |        |           |      |        |        |          |
|------------|--------|-----------|----------|------|------------|--------|-----------|------|--------|--------|----------|
| Ár         | Malbik | Steypa    | Mismunur | Ár   | Malbik     | Steypa | Mismunur  | Ár   | Malbik | Steypa | Mismunur |
|            |        | Viðgerðir |          |      |            |        | Viðgerðir |      |        |        |          |
| 1          | 2041   | 0         | 3000     | -959 | 1          | 2041   | 0         | 3000 | -959   |        |          |
| 2          | 0      | 0         | 0        | 0    | 2          | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 3          | 0      | 0         | 0        | 0    | 3          | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 4          | 0      | 0         | 0        | 0    | 4          | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 5          | 0      | 25        | 0        | 25   | 5          | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 6          | 0      | 25        | 0        | 25   | 6          | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 7          | 0      | 25        | 0        | 25   | 7          | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 8          | 0      | 25        | 0        | 25   | 8          | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 9          | 0      | 25        | 0        | 25   | 9          | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 10         | 0      | 25        | 0        | 25   | 10         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 11         | 0      | 25        | 0        | 25   | 11         | 1128   | 0         | 0    | 1128   |        |          |
| 12         | 0      | 25        | 0        | 25   | 12         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 13         | 0      | 25        | 0        | 25   | 13         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 14         | 0      | 25        | 0        | 25   | 14         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 15         | 0      | 25        | 0        | 25   | 15         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 16         | 0      | 25        | 0        | 25   | 16         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 17         | 1128   | 0         | 0        | 1128 | 17         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 18         | 0      | 0         | 0        | 0    | 18         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 19         | 0      | 0         | 0        | 0    | 19         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 20         | 0      | 0         | 0        | 0    | 20         | 1128   | 0         | 0    | 1128   |        |          |
| 21         | 0      | 25        | 0        | 25   | 21         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 22         | 0      | 25        | 0        | 25   | 22         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 23         | 0      | 25        | 0        | 25   | 23         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 24         | 0      | 25        | 0        | 25   | 24         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 25         | 0      | 25        | 0        | 25   | 25         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 26         | 0      | 25        | 0        | 25   | 26         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 27         | 0      | 25        | 0        | 25   | 27         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 28         | 0      | 25        | 0        | 25   | 28         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 29         | 0      | 25        | 0        | 25   | 29         | 1128   | 0         | 0    | 1128   |        |          |
| 30         | 0      | 25        | 0        | 25   | 30         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 31         | 0      | 25        | 0        | 25   | 31         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 32         | 1128   | 0         | 0        | 1128 | 32         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 33         | 0      | 0         | 0        | 0    | 33         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 34         | 0      | 0         | 0        | 0    | 34         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 35         | 0      | 0         | 0        | 0    | 35         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| 36         | 0      | 25        | 0        | 25   | 36         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 37         | 0      | 25        | 0        | 25   | 37         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 38         | 0      | 25        | 0        | 25   | 38         | 1128   | 0         | 0    | 1128   |        |          |
| 39         | 0      | 25        | 0        | 25   | 39         | 0      | 0         | 0    | 0      |        |          |
| 40         | 0      | 25        | 0        | 25   | 40         | 0      | 25        | 0    | 25     |        |          |
| Núvirði    | 2670   | 256       | 3000     | 5,5% | 3395       | 195    | 3000      | 9,2% |        |        |          |
| Samtals    |        | 2926      | -74      |      |            | 3590   | 590       |      |        |        |          |

ADU = 8000

| Ár | Malbik      |             | Steypa Mismunur |              |
|----|-------------|-------------|-----------------|--------------|
|    | Malbik      | Viðgerðir   | Steypa          | Mismunur     |
| 1  | 2041        | 0           | 3200            | -1159        |
| 2  | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 3  | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 4  | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 5  | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 6  | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 7  | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 8  | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 9  | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 10 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 11 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 12 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 13 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 14 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 15 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 16 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 17 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 18 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 19 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 20 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 21 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 22 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 23 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 24 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 25 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 26 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 27 | 0           | 0           | 1962            | -1962        |
| 28 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 29 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 30 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 31 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 32 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 33 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 34 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 35 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 36 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 37 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 38 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 39 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 40 | 0           | 0           | 0               | 0            |
|    | <u>4272</u> | <u>128</u>  | <u>3631</u>     | <u>10,4%</u> |
|    |             | <u>4399</u> | <u>768</u>      |              |

ADU = 10000

| Ár | Malbik      |             | Steypa Mismunur |              |
|----|-------------|-------------|-----------------|--------------|
|    | Malbik      | Viðgerðir   | Steypa          | Mismunur     |
| 1  | 2041        | 0           | 3200            | -1159        |
| 2  | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 3  | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 4  | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 5  | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 6  | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 7  | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 8  | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 9  | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 10 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 11 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 12 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 13 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 14 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 15 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 16 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 17 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 18 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 19 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 20 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 21 | 0           | 25          | 1962            | -1937        |
| 22 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 23 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 24 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 25 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 26 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 27 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 28 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 29 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 30 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 31 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 32 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 33 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 34 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 35 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 36 | 0           | 25          | 0               | 25           |
| 37 | 1128        | 0           | 0               | 1128         |
| 38 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 39 | 0           | 0           | 0               | 0            |
| 40 | 0           | 0           | 0               | 0            |
|    | <u>4778</u> | <u>64</u>   | <u>3812</u>     | <u>11,8%</u> |
|    |             | <u>4862</u> | <u>1050</u>     |              |



## HEIMILDASKRÁ:

1. Hákon Ólafsson o.fl.: *"Hagkvæmni mismunandi slitlaga"*.  
Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 1987.
2. Ólafur Wallevik og Karsten Iversen: *"Hástyrkleikasteypa úr íslenskum efnum"*.  
Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins, 1992.
3. Valur Einarsson, Knútur Hreinsson, Ragnar Þór Jónsson: *"Malbik vs. Steypa"*.  
Nemendaverkefni, verkfræðideild Háskóla Íslands, 1992.
4. Aulis Nironen o.fl.: *"Cement-treated and Concrete Pavements"*.  
Road and Waterways Administration Finland, 1989.
5. John P. Zaniewski: *"Effect of Pavement Surface Type on Fuel Consumption"*.  
Portland Cement Association, 1989.
6. Ib Vinding: *"Valg af belægning"*.  
Dansk Vejtidskrift nr. 3, 1990.
7. Erik Andersen: *"Betong eller asfalt for ny E18 gjennom Vestfold etter anbud på alternative dekkelsninger"*.  
Våre Veger nr. 9, 1985.
8. G.A. Fleischer: *"Engineering Economy"*.  
(bls. 74 og 110). PWS Publishers, 1984.



## Fylgiskjal II.

Ólafur Wallevik, Karsten Iversen,  
Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins:

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

### 1. INNGANGUR

Síðustu 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", rafendasmásjártækni).
- Tilkomu nýrra sementsefna og íblöndunarefna.
- Notkun járnbundinnar og strengjastyrktar 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 einkum á svæðum, þar sem álag er mikið.

Framleiðsla á hástyrkleikasteypu (HSS) fer stöðugt vaxandi í heiminum t.d. höfðu í Noregi árið 1988<sup>[1]</sup> 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 "heimsmetið" í styrk steypu með náttúrulegum fylliefnum, annars vegar C 130 (u.þ.b. 140 MPa) framleitt í steypustöð<sup>[2]</sup> og hins vegar yfir 200 MPa (230) í tilraunastöð<sup>[3]</sup>. Með því að hlíta steypusýnin upp í u.þ.b. 250°C, þannig að efnahvörf myndist á milli efju og fylliefna þá hefur náðst<sup>[4]</sup> allt að 250 MPa styrkur. Með því að nota keramikefni í stað náttúrulegra fylliefna hefur náðst<sup>[5]</sup> u.þ.b. 460 MPa styrkur. Einnig hefur náðst yfir 100 MPa styrkur í léttsteypu<sup>[6]</sup> (rúmpýngd undir 1900 kg/m<sup>3</sup>).

Flestir staðlar hafa efri mörk á styrk steypu frá 55 til 65 MPa, þó hafa Norðmenn<sup>[7]</sup> (C 105) og Finnar<sup>[8]</sup> (K 100) nú nýlega tekið með styrkleikaflokka að 105 MPa. Engin ákvæði eru í íslenskum staðli um hástyrkleikasteypu.

Kostir HSS eru margvíslegir og hægt er að nefna:

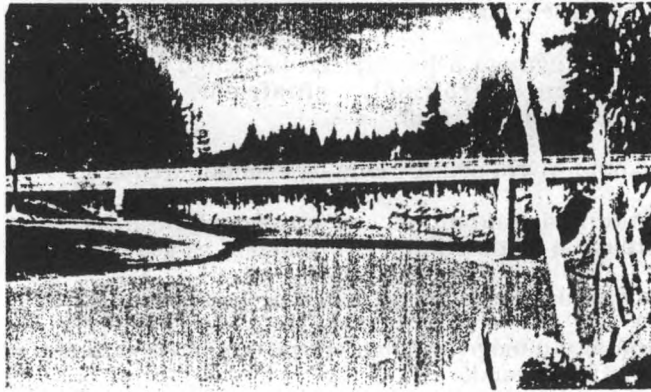
- Grennri þversnið (háhyli, brýr, iðnaðarhús, ...)
- Lengri höf (brýr, iðnaðarhús,....)
- Aukið slitþol (vegir, brýr, gólf,....)

- 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), grónn þvernsnið 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 gæðabergi.
4. Benda á notkunarsvið fyrir hástyrkleikasteypu.

## 2. NOTAGILDI HSS

### 2.1 Brúargerð

Við brúargerð, einkum við lengri brýr, er eiginþyngd 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<sup>[19]</sup>. Helgelands brúin í Noregi sem verið er að ljúka, hefur 390 m fritt haf. Hér er notuð S850 steypa í aðalburðarvirki og S600 léttsteypa (rúmþyngd u.þ.b. 1900 kg/m<sup>3</sup>) í miðju hennar. Mynd 2 sýnir skissu af brúnni.

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



**MYND 2 Helgelandsbrúin<sup>[19]</sup> í Noregi. Aðalburðarvirki er úr S900 HSS og S600 léttsteypu**

Á forsiðu þessarar skýrslu er tillaga\* að fyrirhugaðri brú yfir Elliðavog. 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 síttlag, 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/kosti 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<sup>[21]</sup>. 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 mælaðferð 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 slitlagin eru góð. Eln könnunin<sup>[22]</sup> 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 m<sup>2</sup> 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 álika mikill (<1%) á hvern m<sup>2</sup> 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 belegningslitlaget", slit í grömmum eftir bíl á fjórum neglidum 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 | S800 | S1000 |
|-------------|----------|------------|-----------|------|-------|
| 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 stofn- og tengibrautum með ÁDU um og yfir 11000.

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

### 2.3 Einingaframleiðsla

Bæði frá hagkvæmnisjónarmiði og framleiðslu eru möguleikar HSS hvað mestir í einingaframleiðslu. Ekki síst m.t.t. frostþols utanhússeininga, en mjög lítil 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 miku betra eftirlit með framleiðslunni auk þess sem þjálfing er ekki mikið vandamál. Áætla má að framleiðendur hér á landi þurfi að sjárfesta örlítið í bættum tækjakosti áður en þeir hefja framleiðslu HSS.

### 2.4 Rafínur

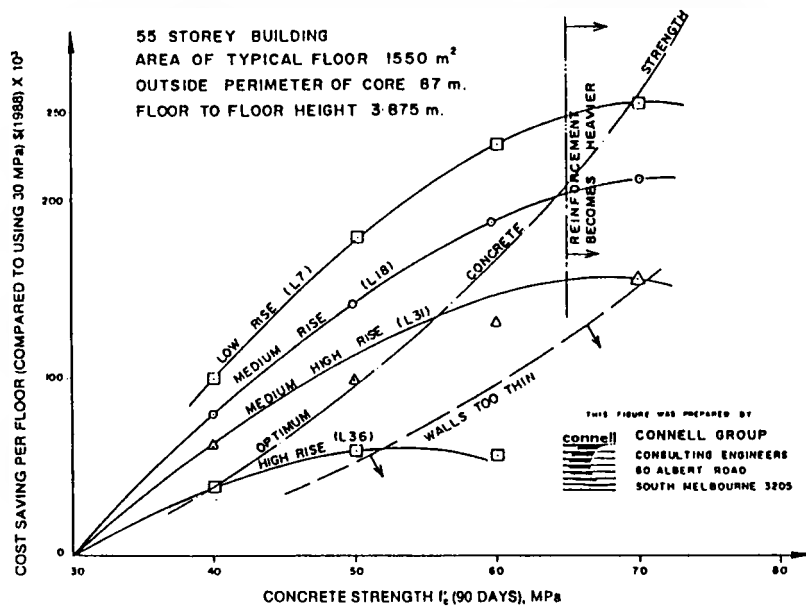
Settar hafa verið fram hugmyndir að staurum í rafínur sem byggjast á því að tengja saman notkun HSS og uppspennu utan steypu (ásamt notkun trefjasteypu). Þessar hugmyndir eru í þróun.

## 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 *hægðasteypu* í stað HSS. Veðrunarþol HSS er svo miklu meira en í hefðbundinni steypu, og þá einkum með tilliti til "saltisogs", frostþols og vatnspéttleika.

## 2.6 Húsagerð

Í húsagerð hefur HSS aðallega verið notuð í háhýsi. Þar hafa Bandaríkjamenn og Japanir verið fremstir, en einnig má nefna Norðmenn og Ástralíumenn. Sem dæmi frá Ástralíu<sup>[24]</sup> 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 járnþingingu.

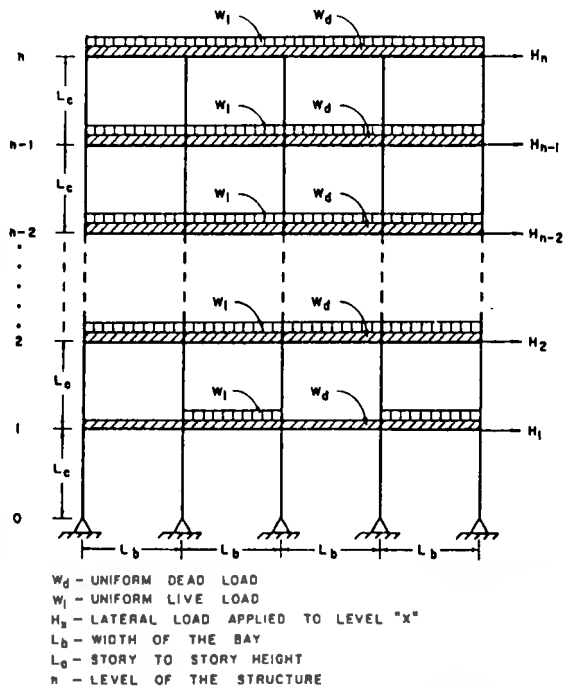


**MYND 3** Sparnaður (í \$1000) á hverja hæð (miðað við S300), sem fall af styrk [24] í Melbourne Central. Kostnaðarmatið leiddi í ljós að hagkvæmast var að nota u.þ.b. S650

Að auki fengust 4 m<sup>2</sup> 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 járnbindingu. Við byggingu háhýsa eru verulegar fjárhæðir í húfi, 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.

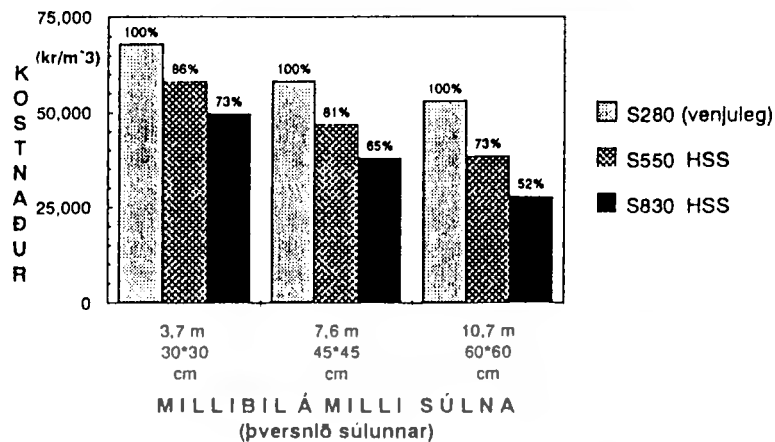
Hinni fjárlagslegi hagnaður kemur aðallega fram í gerð súlna, þar sem sparnaður getur orðið allt að helmingur með notkun HSS. Fyrst verður skoðuð bandarísk könnun<sup>[24]</sup>, þar sem gert er kostnaðarmat á framleiðslu súlna í 5 hæða húsi. Hér er tekið tillit til flestra, ef ekki allra þátta í framleiðslunni allt frá verði á steypuvinnu, steypu, járn, járnalögn 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 grennri þversniði).



**MYND 4** Burðarþolsramminn<sup>[24]</sup> sem var notaður við kostnaðarmatið

ACI nefnd<sup>[25]</sup> nr. 363 birtu kostnaðarmat, þar sem fram kemur að mestur sparnaður næst með því við að minnka járnbindingu 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.

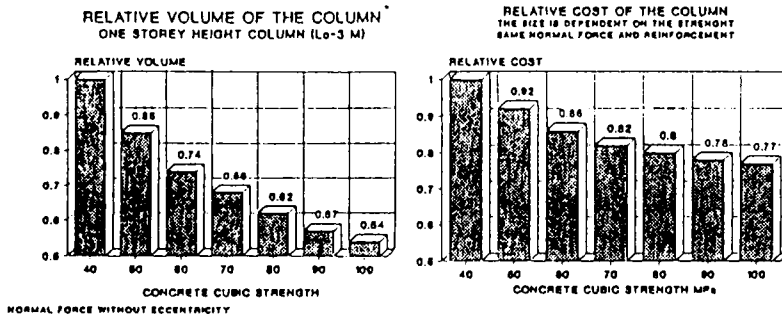
Á mynd 5 eru gefin þrjú dæmi: Sjarlægð milli súlna er breytileg eða 3,7 m, 7,6 m og 10,7 m. Þversnið súlnanna er 30x30 cm við 3,7 m, 45x45 við 7,6 m og 60x60 cm við 10,7 m sjarlægð. Hæð allra súlnanna er 3,7 m (sjá nánar í heilmíld<sup>[25]</sup> um forsendur kostnaðarmatsins). Þar sem sjarlægð á milli súlna er 3,7 m sparast 27% við að nota HSS (S830) miðað við S280 og jafnframt, sparast 48% þegar sjarlægðin er 10,7 m. (Varast ber að líkja dæmunum með hinum ýmsu sjarlægðum saman, þar sem heildarbreidd húsanna 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)

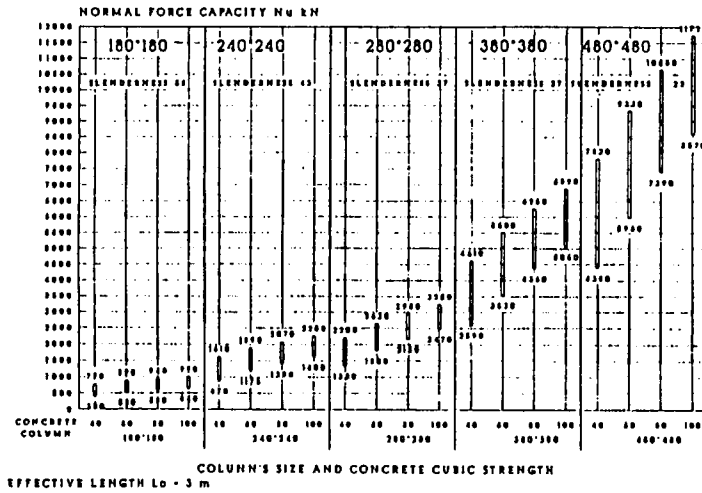
Önnur könnun sem gerð var í Finnlandi sýnir að með því að auka styrkinn frá u.þ.b. S350 (K40) í S950 (K1000), má minnka rúmmál súlna (hæð: 3 m) niður í 52% og heildarframleiðslukostnaðinn niður í 77%. Mynd 6 sýnir hvernig rúmmál og hlutfallslegur kostnaður breytist við að auka styrk steypunnar. Mynd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



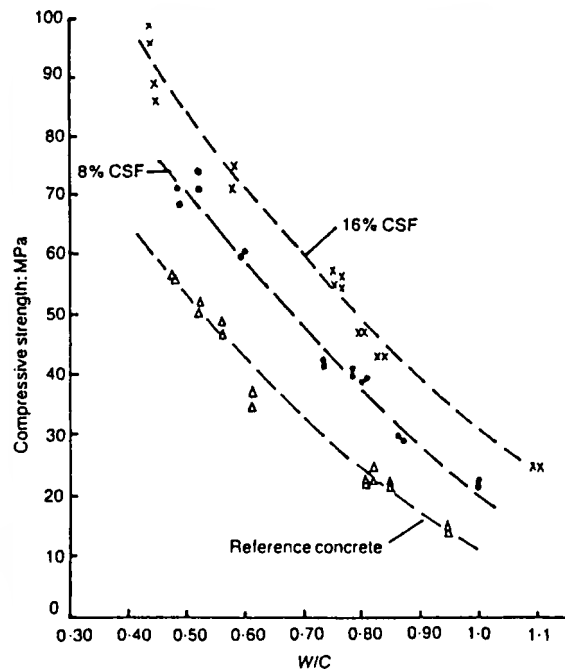
**MYND 7** Burðarþol súlna/staura með min. og max. járnþingingu sem fall af styrk

### 3. EFNISEIGINLEIKAR

#### 3.1 Sement og kísilryk

Í HSS er æskilegt að í sementinu sé sem minnst af álsamböndum ( $C_3A$ ), frekar mikið af Belit ( $C_2S$ ) og að það sé frekar finmalað (Blaine > 4000  $cm^2/g$ ). Einnig er æskilegt að Ferrit ( $C_4AF$ ) 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<sup>[9]</sup>