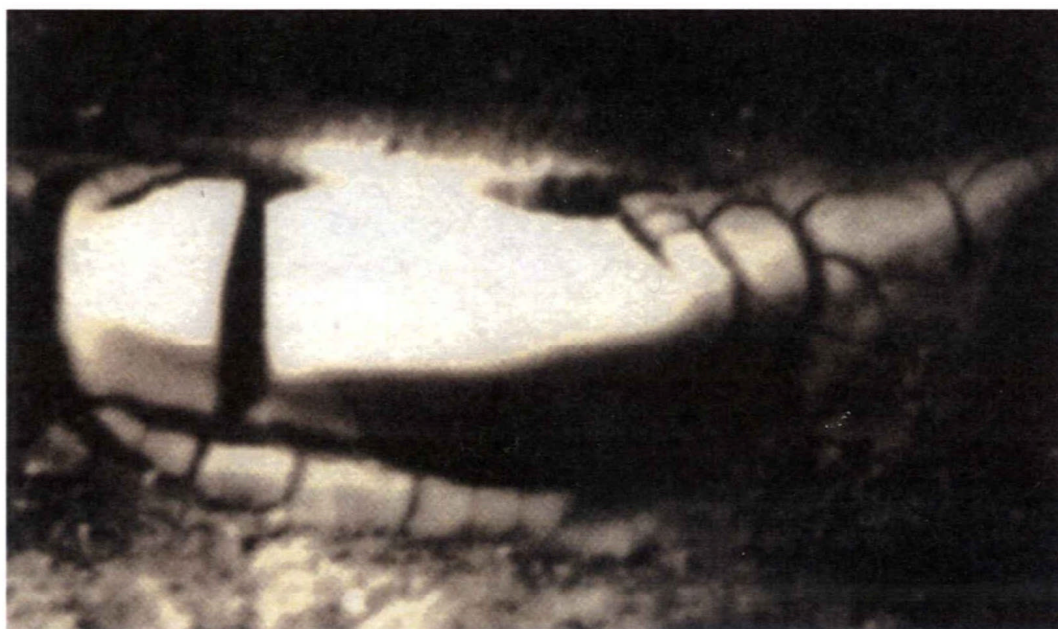




Alkalívirgni steinsteypu Saga alkalíranssóknna á Íslandi



© 2007 Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

Forsíðumynd:

Myndin á forsiðunni er af útpornuðu alkalihlaupi sem pressast hefur út úr borkjarna úr steypum útvegg

Prentun:

Samskipti

.

Alkalívirgni steinsteypu Saga alkalírannsókna á Íslandi

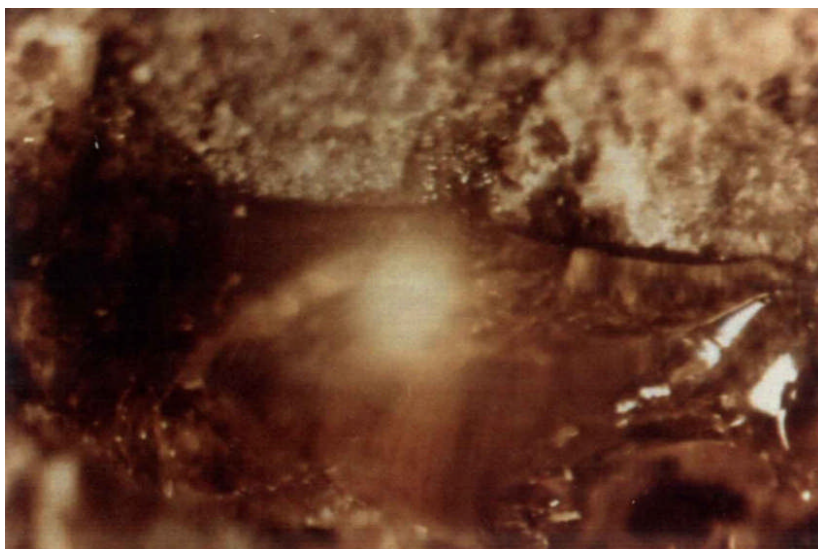
*Dr. Guðmundur Guðmundsson,
verkfræðingur*

Keldnaholt, júlí 2007

Formáli

Alkalívirgkni í steinsteypu er hugtak, sem notað er um sérstök efnahvörf í steinsteypu, sem geta leitt til umfangsmikilla skemmda í henni. Slíkar skemmdir voru fyrst uppgötvaðar í Kaliforníu á 5. áratug seinustu aldar en á 6. áratugnum kom í ljós að Danir áttu einnig við slík vandamál að stríða. Haraldur Asgeirsson, verkfræðingur og síðar forstjóri Rb kynntist þessu fyrirbæri þegar hann var við nám í Bandaríkjunum. Þegar heim kom beitti hann sér fyrir prófunum á íslensku bergi og í ljós kom að sumar tegundir basalts reyndust vera alkalívirgk þannig að möguleiki á skemmdum í steinsteypu af þessum völdum var fyrir hendi. Í kjölfarið var leitað ráðgjafar frá dr. Gunnari Idorn og dr. Bryan Mather sem voru helstu sérfræðingar á þessu sviði í heiminum og höfðu sérhæft sig á þessu sviði í Danmörku og í Bandaríkjunum. Að þeirra ráði var sett á stofn Steinsteypunefnd árið 1967 undir forystu Rb með þátttöku helstu opinberu hagsmunaaðilanna sem voru auk Rb: Landsvirgkjun, Vegagerð ríkisins, Borgarverkfræðingur, Vita- og hafnamálastofnun og Sementsverksmiðja ríkisins. Hlutverk hennar var að vinna gegn grotnun í steinsteypu.

Steinsteypunefnd hefur frá upphafi átt frumkvæði að og kostað fjölþættar ránnsóknir á sviði alkalívirgkni og er fjallað ítarlega um þær í þessu riti. Vegna þess var fyrir hendi mikil þekking á hinum ýmsu þáttum, sem áhrif hafa á alkalívirgkni í steinsteypu þegar í ljós kom að slíkar skemmdir voru til staðar í steypum húsum í Reykjavík. Að lokinni umfangsmikilli ástandskönnun sem lauk árið 1979 var staðfest að alkalískemmdir voru all útbreiddar á þessu svæði. Það var því unnt að gera fyrirbyggjandi ráðstafanir strax með þeim einstaka árangri að frá miðu ári 1979 hafa ekki komið fram alkalískemmdir á Íslandi í venjulegum mannvirkjum.



Mynd 1. Alkalíhlaup á yfirborði borkjarna

Ýmsar ránnsóknir Nefndarinnar hafa vakið heims athygli. Má þar m.a. nefna nýtingu kísilryks til að auka gæði sements og hindra alkalískemmdir, þróun virkjanasements með

notkun possolana, notkun vatnsfæla til að lækka rakstig í steinsteypu og þannig draga úr alkalívirkni.

Á seinni árum hafa fjölmargar þjóðir uppgötvað að þær eiga við alkalívandamál að stríða. Í flestum tilvikum hefur vandamálið verið til staðar í langan tíma áður en það var rétt greint en slíkar skemmdir geta líkst frostskegmdum eða rýrnunarskegmdum.

Höfundur þessa rits ásamt Haraldi Ásgeirssyni voru frumkvöðlar á þessu sviði á Íslandi og lögðu grunn að öflugu ránnsóknastarfi á sviðinu. Steinsteypunefnd er enn starfandi og kostar margvíslegar ránnsóknir er varða steinsteypu. Hún verður fjörtíu ára á þessu ári og af því tilefni er þessi bók gefin út. Einnig verður opnuð vefsíða Steinsteypunefndar í tengslum við vefsíðu` Rb þar sem fram kemur m.a. yfirlit yfir allar ránnsóknir sem Nefndin hefur staðið fyrir og útgefnar skýrslur og rit.

Undirritaður, sem verið hefur í forsvari fyrir Steinsteypunefnd undanfarin ár, þakkar höfundi þessa rits fyrir ítarlega greinagerð um starfsemi nefndarinnar og þá sem að henni hafa staðið.

Hákon Ólafsson,
forstjóri Rb

Efnisyfirlit:	Bls.
1. Inngangur	1
2. Uppgötvun alkalíþenslu í steypu og orsök hennar	6
3. Alkalíránnsóknir á Íslandi og aðgerðir gegn alkalíþenslu árin 1967 - 1972	8
3.1 Ránnsóknir á mannvirkjum	9
3.2 Veðurfarsránnsóknir	10
3.3 Ránnsóknir á steypuefnum og sementi	11
3.4 Ránnsóknir á múr og steypublöndum	12
Samanburður á þensluprófunum ASTM C227 og efnaprófun ASTM C289	12
Áhrif mismunandi sementstegunda á alkalíþenslu	14
Áhrif salts og klórjóna á alkalíþenslu	14
Áhrif hitastigs á alkalíþenslu	14
Áhrif þessólánefna á alkalíþenslu	15
3.5 Mat á ránnsóknaniðurstöðum fyrstu fimm áránnna	17
4. Alkalíránnsóknir á Íslandi og uppgötvun alkalískemmda 1970 - 1985	18
4.1 Kísilrykið	18
4.2 Uppgötvun alkalískemmda og könnun þeirra	21
Skoðun mannvirkja	22
Smásjárránnsóknir	23
4.3 Könnun á alkalívirggni steypuefna og áhrif salts á alkalívirggni	25
4.4 Viðhald alkalískemmdra húsa	25
5. Alkalíránnsóknir á Íslandi og aðgerðir gegn alkalískemmdum 1985 - 2005	27
5.1 Ránnsóknir á mannvirkjum	27
5.2 Vatnsfælur	28
5.3 Ránnsóknir á samspili alkalívirggni og frostáhrifa	29
5.4 Innri gerð steinsteypu	30
5.5 Nýjar prófunaraðferðir	31
5.6 Langtímaáhrif kísilryks á alkalíþenslu og dreifing þess í steinsteypu	33

5.7 Hugleiðingar og mat á rannsóknaniðurstöðum	34
5.8 Íslenskar alkalírannsóknir á alþjóðavettvangi	36
6. Steinsteypunefnd	38
7. Opinber umræða og fjölmiðlaumræða um alkalískemmdir á Íslandi	56
8. Heimildir	62

1. Inngangur

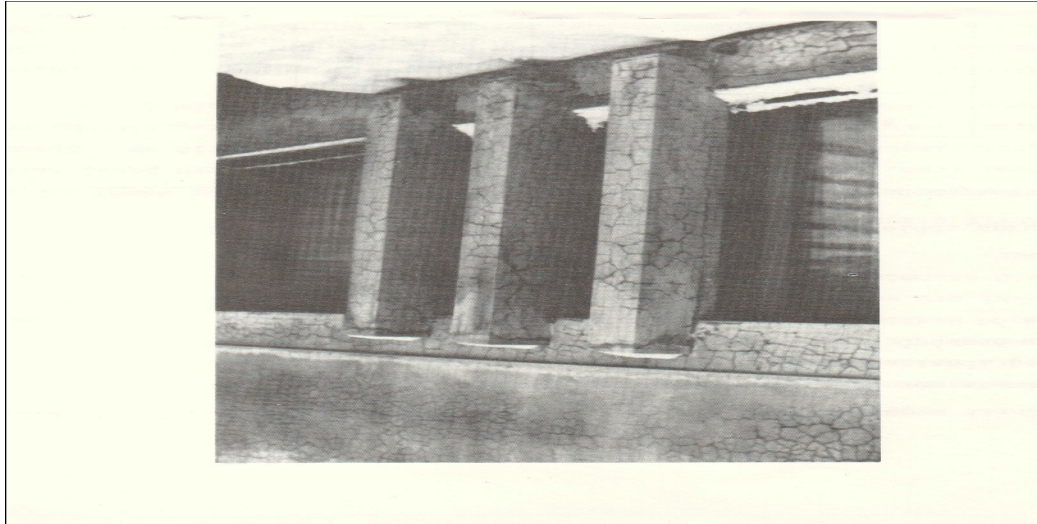
Steinsteypa er aðalbyggingarefnið hér á landi. Í einföldustu gerð er mjög auðvelt að framleiða hana og fyrstu áratugina sem hún var notuð á Íslandi var hún handhrærð á byggingarstað. Hráefnin í einfalda steypugerð eru þrjú, steypuefni (mól og sandur), sement og vatn. Endanleg gæði steinsteypunnar fara eftir því hvernig þessum efnum er blandað saman, hvernig hún er niðurlögð og hvernig blandan er meðhöndluð eftir á.

Góð steinsteypa hefur marga kosti sem byggingarefni. Hún er burðarmikil, vatnspétt og ódýr. Á Íslandi eru einnig öll hráefnin innlend. Erfið umhverfisáhrif, svo sem vot og stormasöm veðráttu, hætta á jarðskjálftum og nálægð við sjó, kalla á byggingarefni með eiginleika steinsteypunnar. Það er ótvírætt orsök þess hversu mikið hún er notuð til húsagerðar hér á landi. Ekki nýtast kostir hennar síður við gerð annarra mannvirkja, svo sem samgöngu- og virkjanamannvirkja, vegna styrks hennar og vatnspéttleika.

Þrátt fyrir þessa miklu kosti steinsteypunnar eru steypuskemmdir algengar. Orsakir þess eru oftast þær að framleiðslu, niðurlögn eða eftirmeðhöndlun hennar er áfátt. Algengast er að rýrnunarsprungur myndist (efna- og þurrkrýrnun) sem bæði valda útlitsgöllum og draga í sig vatn og einnig getur steypuefjan sjálf verið vatnsdræg (hárpípuísog). Komist vatn inn í steypuna í nægilegu magni frýs það inni í henni og hún grotnar niður. Sprungumyndun og frostáhrif eru aðalskemmdaþættirnir í íslenskri steinsteypu.

En það eru einnig ýmis efnahvörf í steypunni sem geta valdið skemmdum á henni. Þekktust þeirra er súlfatþensla þar sem súlföt, venjulega úr umlykjandi jarðvegi, hvarfast með efnasamböndum sementsins og valda eyðileggjandi þenslu. Súlfatþensla er vel þekkt erlendis en sjaldgæf á Íslandi þar sem súlföt í þeim styrkleika sem til þarf koma lítið í snertingu við steinsteypu hér.

Það varð aftur á móti annað eyðileggjandi efnahvarf sem olli miklu írafári í íslenskri steypugerð um tveggja áratuga skeið milli 1960 og 1980. Þessi skaðvaldur er nefndur alkalíþensla og verður til ef nægilegt vatn kemst að kísilhlaupi sem myndast við efnahvörf sements og fylliefna. Skemmdir af völdum alkalíþenslu urðu verulegar á þessu tímabili (1). Þær voru þó nær eingöngu í íbúðarhúsnæði á Reykjavíkursvæðinu. Orsök þess var að steypuefni mikið notað á svæðinu innihélt efni sem mynduðu þessi þenjanlegu efnasambönd með sementinu.



Mynd 2. Alkalískemmt hús á Reykjavíkursvæðinu. (27)

Alkalískemmdir í íbúðarhúsum þóttu mikil tíðindi á þessum tíma þar sem alkalíþensla var eingöngu þekkt í mannvirkjum sem voru í snertingu við vatn, svo sem stíflum, höfnum og brúm. Sú skoðun var ráðandi að alkalíþensla kæmi ekki fram í íbúðarhúsnæði vegna þess að þar myndi vatn ekki ná inn í steypuna í því magni sem til þyrfti. Síðar fundust alkalískemmdir í íbúðarhúsnæði erlendis þó oftast í miklu minna mæli en í vatnamannvirkjum. Hér á landi var þessu öfugt farið, hér voru skemmdirnar nær eingöngu í íbúðarhúsum en ekki í öðrum mannvirkjum.

Tilkoma og uppgötvun alkalískemmda á Íslandi var með nokkuð öðrum hætti en í öðrum löndum. Hér var hafin varnarbarátta gegn þeim 10 árum áður en þær voru uppgötvaðar eða komu fram. Annars staðar varð uppgötvunin fyrst og oft leið rúmur tími þar til menn annaðhvort áttuðu sig á vandamálinu eða vildu viðurkenna það. Ástæða þess að varnaraðgerðir voru hafnar svo snemma hér var að við rannsóknir á steypuefnum hjá Rannsóknastofnun byggingaiðnaðarins hafði komið í ljós að viss steypuefni, þ.á.m. það steypuefni sem olli skemmdunum á Reykjavíkursvæðinu, innihéldu virk efni sem gátu valdið alkalíþenslu. (2) Með tilliti til hás alkalíinnihalds sementsins frá Sementsverksmiðju ríkisins, en hún hafið hafði sementsframleiðslu 1958, sem var eingöngu notað til steypuframleiðslu í landinu, var hvatt til varkárni við notkun þess í vatnamannvirki. Þetta var á árunum 1965-1970 en á þeim árum voru miklar áætlanir um byggingu virkjana og ýmissa annarra vatnamannvirkja. Þessi vitneskja varð t.d. til þess að erlent lágalkalígjall var flutt til landsins og malað saman við íslenskt sementsgjall til að nota í Búrfellsvirkjun. Vegna virkjananna var málið tekið föstum tökum af stjórnvöldum. Skipuð var sérstök nefnd þeirra aðila sem höfðu með byggingu vatnamannvirkja að gera og sérfræðiaðstoð sótt til útlanda. Þessi nefnd, Steinsteypunefnd, var stofnuð árið 1967 og reyndist hún íslenskri steypugerð hið þarfasta tæki til aukinna gæða og eftirlits. Nefndin starfar enn.

Því miður var almennt talið af þeim er gerst þekktu til alkalískemmda í heiminum að ekki væri hætt á skemmdum í íbúðarhúsnæði. Því voru litlar varúðarráðstafanir gerðar við slíka steypugerð. Mikilli rannsóknáætlun var hrint í framkvæmd hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins árið 1967 til að gera sér grein fyrir hættunni

af þessum skemmdavaldi og finna aðgerðir til að draga úr eða koma í veg fyrir hann. Niðurstöður rannsóknanna voru að með notkun svonefndra possólanefna í sementið eða steypuna væri sennilegt að ekki þyrfti að flytja inn lágalkalísment til bygginga vatnamannvirkja. Var þar helst litið til líparíts í Hvalfirði sem hefur possólaníska eiginleika. Var talið að fært væri að framleiða possólansement sem minnkaði nægilega hættuna á alkalískemmdum. Erlendar rannsóknir jafnt og þær íslensku á þessum tíma sýndu með óyggjandi hætti að possólanefni komu í veg fyrir hættulega þenslu af völdum alkalívirgkni. Ekki var gert ráð fyrir notkun þessa sérsements í venjulega steypu þar sem önnur (þurr) mannvirki voru ekki talin í hættu. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins hvatti þó til enn meiri varkárni, sérstaklega vegna veðurfarsins á suður- og suðvesturhluta landsins, en þar sem umtalsverður kostnaður hefði fylgt nauðsynlegum ráðstöfunum var ekki talið fært að gera þær.

Sérsement með íblöndun 25% líparíts var viðurkennt af Landsvirkjun til notkunar í Sigölduvirkjun árið 1974. Var það nefnt Sigöldusement. Skoðun á þessu mannvirki eftir 30 ára notkun hefur sýnt að steypa þar er í góðu ásigkomulagi (3) og er sannfærandi dæmi um mikilvægi og gildi rannsókna. Sigöldusement var svo notað í önnur vatnamannvirki framan af eða þar til ný sementstegund var þróuð í Blönduvirkjun upp úr 1980. Íslenska sementið var þá blandað með 10% kísilryki og 25% líparíti og var það sement nefnt Blöndusement.

Notkun á virka steypuefninu sem fyrr er nefnt hófst um 1960. Því var dælt úr sjó og nefnt Björgunarefni eftir fyrirtækinu sem vann það. Efnið hafði þá kosti fram yfir önnur steypuefni á svæðinu að það var laust við óhreinindi og svo var það ódýrt. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins hvatti til varkárni við notkun efnisins en þar sem ekki var talin nein hætta á alkalívirgkni í venjulegu íbúðarhúsnæði var ekki talin ástæða til takmörkunar á þess konar notkun. Björgunarefninu sem reyndist alkalívirkt var dælt af botni Hvalfjarðar nærri bænum Eyri í Kjós. Það var síðar bannað í útveggjasteypur og hóf Björgun hf. þá dælingu á öðrum stað út af Kjalarnesi á efni sem hafði verulega minni alkalívirgkni. Nýja efnið var eftir það nefnt Björgunarefni en gamla, virka efnið Hvalfjarðarefni til aðgreiningar. Hvalfjarðarefnið var aftur á móti notað alla tíð sem viðmiðunarefni í alkalírannsóknum við Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.

Rannsóknirnar fyrir Steinsteypunefnd sýndu að possólanefni, svo sem líparít og vikur, gátu komið í veg fyrir hættulega alkalíþenslu. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins lagði þá til að lögð yrði áhersla á þróun íslensks possólansements sem nota mætti í alla steypu og gerði Steinsteypunefnd þá tillögu að sinni.

Fram til þessa tíma framleiddi Sementsverksmiðja ríkisins possólansement sem nefnt var Faxasement. Var það íslenskt sement blandað 15% móbergi og 15% líparíti. Það sement þótti ekki fýsilegt til almennra nota, hafði lágan byrjunarstyrk og harðnaði hægt. Móbergið sýndi lakari possólaneiginleika en líparítið og var líparítið eitt sér því talinn besti kosturinn þar sem það var líka notað til sementsbrennslunnar. Árið 1972 var farið að blanda líparíti í allt sement frá Sementsverksmiðju ríkisins, fyrst 2% sem hækkað var í 5% árið 1973 og 9% árið 1976 en það ár komu fyrstu alkalískemmdirnar í ljós. (4) Erfitt reyndist þó að halda nauðsynlegum byrjunarstyrk í sementi með um 10% íblöndun líparíts en sú prósentta var talin lágmark til þess að bægja frá hættu á alkalíþenslum í steypu með Björgunarefni. Frá þessum tíma var Björgunarefni og

óblandað íslenskt sement jafnan notað sem viðmiðun við allar alkalíránnsóknir hjá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins og er svo að mestu enn.

Þá var farið að leita að hugsanlegum öðrum fljótverkari possólanefnum. Árið 1972 hófst umræða um að reisa járnblendiverksmiðju í Hvalfirði. Eitt aðal umhverfisvandamál þeirrar verksmiðju var hvað gera skyldi við mjög fínt ryk sem myndast við framleiðslu kísiljárns og fangað er í pokaryksíur. Sementsverksmiðjurnar í Noregi höfðu þá hafið ránnsóknir á notkun ryksins sem íblöndun í sement en gekk erfiðlega að koma saman bæði tækni og hagkvæmni. Fengið var sýni af þessu ryki til ránnsóknna hjá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins. Þrátt fyrir byrjunarörðugleika sem helst lýstu sér í mikilli vatnspörf vegna fínleika ryksins voru möguleikar þessa possólanefnis augljósir. Hófst nú umfangsmiklar ránnsóknir hjá stofnuninni á notkun kísilryksins í steypu. Var höfð samvinna við byggjendur járnblendiverksmiðjunnar og brátt fundust lausnir á brýnustu vandamálunum, svo sem að draga úr fínleika ryksins. Allar ránnsóknirnar byggðust á notkun kísilryksins beint í sement og var sementstegund þróuð hjá Sementsverksmiðju ríkisins sem innihélt 7,5% kísilryk. Þetta kísilrykssement sem með tímanum var nefnt „Venjulegt Portlandsement“ sameinaði þá eiginleika að hafa hærri styrk en forverinn en einnig gaf það í tilraunum meira en næga vörn gegn alkalíþenslu með Björgunarefni. Stóðst það á endum að allar nauðsynlegar ránnsóknir og tilraunir höfðu verið gerðar með fullum árangri árið 1979 þegar Íslenska járnblendifélagið hóf framleiðslu og hófst þá þegar framleiðsla á kísilrykssementi hjá Sementsverksmiðju ríkisins.

Árið 1976 komu fyrstu alkalískemmdirnar í ljós í húsi í Garðabæ. Þessum ískyggilegu niðurstöðum frá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins sem studdar voru ránnsóknnum frá þekktustu ránnsóknastofnun á alkalíþenslu í Evrópu, steypuránnsóknastofnuninni í Karlstrup í Danmörku, var þegar komið á framfæri á alþjóðlegri alkalíráðstefnu í London haustið 1976. (5) Vöktu þær mikla athygli en einnig ótrú á að hér væri um staðreynd að ræða enda sennilega fyrsta þekkta tilfellið í veröldinni um alkalískemmdir í íbúðarhúsnæði svo vitað væri. Erlendis fundust síðar einnig alkalískemmdir í íbúðarhúsum. (6)



Mynd 3. Fyrsta húsið þar sem alkalískemmdir fundust. Sjá má útbreytt sprungunet.

Í kringum 1970 voru alkalírannsóknir að hefjast fyrir alvöru í Evrópu og hafði Danmörk verið leiðandi í þeim rannsóknum árin áður. Fyrsta alþjóðaráðstefnan um alkalírannsóknir var haldin í Danmörku árið 1974, næsta í Reykjavík 1975 og sú þriðja í London 1976. (5,7,8) Síðan hafa fjölmargar alþjóðlegar sérráðstefnur verið haldnar um alkalívandamálið og var sú tólfta haldin í Peking árið 2004. Íslendingar tóku virkan þátt í mörgum þessum ráðstefnum enda rannsóknirnar héðan mikilvægar sérstaklega hvað varðaði áhrif possólanefna.

Framhald rannsókna hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins eftir 1976 var að nú var sjónum meira beint að skemmdunum, og því hvernig best mætti takast á við viðgerðir á þeim, og viðhaldi skemmdra húsa. Gerð var viðamikil úttekt á skemmdum húsum og kjarnar boraðir úr þeim og rannsakaðir á rannsóknastofu. Rannsóknirnar leiddu í ljós að skemmdirnar voru mestar í húsum byggðum á tímabilinu 1960-1975, (1) þ.e. frá þeim tíma sem Björgunarefnið var tekið í notkun og þar til possólaníblöndun í sementið hófst. Í húsum byggðum eftir 1979 fundust ekki skemmdir og minnkandi skemmdir á næstu árum þar á undan, niðurstöður sem voru í samræmi við possólaníblöndunina. Þessu til viðbótar leiddu rannsóknirnar í ljós að sjódælda steypuefnið hafði ekki verið þvegið fyrir notkun svo að mismikið af sjó kom með því í steypuna. Þar sem sjór inniheldur verulegt magn af alkalísóltum var ljóst að hætta á efnahvörfum varð enn meiri. Þessi vitneskja varð til þess að fyrirtækið Björgun hf. setti upp stóra þvottastöð fyrir steypuefnið og var það þvegið fyrir notkun.

Rannsóknir sem beindust að fyrirbyggjandi aðgerðum á húsum sem grunur lék á að yrðu alkalískemmdum að bráð eða aðgerðum til að draga úr áhrifum alkalískemmda voru næsta stóra skrefið í alkalírannsóknum hér á landi. Hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins voru það aðallega rannsóknir á áhrifum sílans og síloxans til að draga úr áhrifum alkalískemmda. Þessar rannsóknir vöktu athygli erlendis og voru kynntar á alkalíráðstefnum. Á þessum rannsóknum voru svo byggðar viðhaldsaðferðir með sílanefnum sem nota mátti bæði við viðhald vegna alkalískemmda og vegna annara steypuskemmda. Steinsteypunefnd stóð ætíð vel að baki öllum þessum rannsóknum og greiddi kostnað af þeim. Þegar frá leið og alkalívandamálið var sem næst leyst tók nefndin að sér að kosta ýmsar aðrar steypurannsóknir og stuðlaði þannig að því að steypugerð í landinu var færð í betra horf.

Tilkoma alkalískemmdanna varð íslenskri steypugerð til mikils skaða. Skaðinn af skemmdunum sjálfum var e.t.v. minni en efni stóðu til þar sem tekið var á vandanum svo fljótt og vel sem hér hefur verið greint frá. Óbeinn skaði var meiri. Menn hylltust meðvitað eða ómeðvitað að því að kenna alkalíþenslu um flestar steypuskemmdir. Þetta var mjög áberandi þar sem alkalískemmdirnar komu aðeins fram á Reykjavíkursvæðinu á afmörkuðum tíma. Þar sem alkalíþenslur eru efnisgalli þótti hagstætt að kenna þeim um steypuskemmdir þó að raunveruleg orsök væri oftast en ekki slæg vinnubrögð við steypugerðina. Vinnubrögðin þróuðust því og bötnuðu ekki eins fljótt sem skyldi og afleiðingin varð minni steypugæði og vaxandi ótrú almennings á þessu ágæta byggingraefni. Farið var í auknum mæli að klæða hús að utan með alls kyns klæðningarefni og því var haldið fram að steinsteypa þyldi ekki íslenskt veðurfar.

En steypa í virkjunum og öðrum mannvirkjum þar sem reglum um steypugerð hefur verið fylgt sýnir annað. Þrátt fyrir óblítt veðurfar og aðra utanaðkomandi áraun hafa þau mannvirki sýnt og sannað notagildi og endingu steinsteypunnar. (3)

2. Uppgötvun alkalíþenslu í steypu og orsök hennar

Alkalíþensla og alkalískemmdir í steypu uppgötvast ekki fyrr en árið 1940. (9) Vissulega höfðu skemmdir af völdum alkalíþenslu komið fram áður en öðrum orsökum var um kennt. Sá sem kom með þá kenningu árið 1940 að hér væri um sérstök efnahvörf í steypunni að ræða hét Thomas E. Stanton. Var það í sambandi við ránnsóknir á skemmdum á brúm í Kaliforníu. Skemmdirnar minntu á grotnun af völdum frostþenslu en á viðkomandi svæði í Kaliforníu var ekki frosthætta fyrir hendi. Aðrar þá þekktar orsakir virtust ekki eiga við. Kerfisbundnar ránnsóknir á mannvirkjum á svæðinu leiddu í ljós að ef viss steypuefni ásamt alkalíríku sementi voru notuð við steypugerðina komu þessar sérstöku skemmdir fram. Stanton uppgötvaði af tilviljun á ránnsóknastofu sinni að til þess að skemmdir kæmu fram þyrfti raka og flýtti þessi uppgötvun mjög fyrir skilningi á eðli skemmdavaldsins. Þegar tilraunastrendingar voru geymdir í rakalofti kom fram þensla og sprungumyndanir sem komu hraðast fram við 37-40°C. Út frá þessum ránnsóknaniðurstöðum þróaði Stanton prófunaraðferð sem leiddi til staðlaðrar prófunar sem færð var inn í bandaríska staðalkerfið sem: ASTM C 227 (American Standard for Testing Materials). (10) Aðferðin felst í því að steyptir eru stendingar úr viðkomandi steypuefni með alkalíríku sementi og þeir geymdir í rakalofti við 38°C í a.m.k. sex mánuði. Lengdarbreyting stendinganna er mæld reglulega og sprungumyndun í þeim metin og eru niðurstöðurnar mælikvarði á hættu á alkalíþenslu viðkomandi steypuefnis / sementsblöndu. Þessi aðferð þykir í mörgum tilfellum taka of langan tíma og því hafa aðrar fljótvirkari prófunaraðferðir verið þróaðar. Byggjast þær á bæði efnafræðilegum aðferðum og smásjáaraðferðum en einnig hafa verið þróuð fljótvirk stendingapróf. Gamla stendingaaðferðin er þó enn talin áreiðanlegust og íslensk byggingarreglugerð byggir aðallega á henni.

Á þeim rúmu 60 árum sem liðin eru síðan alkalíþensla uppgötvaðist hafa farið fram gífurlega viðamiklar ránnsóknir á eðli hennar til þess að finna bestu leiðir til að koma í veg fyrir að hún komi fram. Efnabreytingin sem leiðir til þenslu inni í steypunni og sprengir hana í sundur er mjög flókin og ýmsar kenningar eru uppi um nákvæman feril hennar. Það sem gerist er þó í stórum dráttum að alkalísölt í sementinu ganga í efnasamband við ekki kristallaða (amorph) kísilsýru í steypuefninu. Nýja efnasambandið er hlaupkennt og hefur þann eiginleika að draga í sig vatn úr steypunni. Oftast verða þessi efnahvörf á yfirborði steypuefnakorns. Við upptöku vatns eykst rúmmál hlaupsins, það þenst út og þrýstir á steypuna í kringum kornið. Þegar þrýstingur hlaupsins verður meiri en styrkur steypunnar rifnar hún í sundur og sprunga myndast. Sprungan myndar svo leið fyrir utanaðkomandi vatn inn í steypuna sem getur valdið frostskeimmdum.

Allar ránnsóknir sem fram hafa farið á eðli alkalíþenslu sýna að til þess að hún komi fram þurfa þrír þættir að vera fyrir hendi. Þeir eru: 1. virkt steypuefni, 2. alkalíríkt sement eða alkalísölt í umhverfinu (t.d. sjór) og 3. vatn. Sé einn þessara þátta ekki fyrir hendi verður engin þensla. Af þessum sökum var allt fram til um 1975-1980 talið að engin hættu væri á alkalískemmdum í íbúðarhúsnæði þar sem steypan þar næði ekki að blotna nægilega mikið til að mynda hættulega þenslu í kísilhlaupinu. Þessi kenning reyndist því miður ekki standast fullkomlega og þó að alkalískemmdir séu langalgengastar í vatnamannvirkjum hafa þær samt fundist í íbúðarhúsnæði víða um heim.

Fyrsta áratuginn eftir að alkalískemmdirnar í Kaliforníu uppgötvuðust fóru rannsóknir á fyrirbærinu nær eingöngu fram í Bandaríkjunum. Voru þær geysilega umfangsmiklar bæði inni á rannsóknastofnunum og í mannvirkjum og leiddu fljótt til mikillar þekkingar á skemmdavaldinum.

Í Evrópu vöktu þær lítinn áhuga á þessum tíma. Í Danmörku var fyrst sýnt fram á alkalískemmdir í mannvirkjum árið 1952 af rannsóknastofnun danska ríkisins (Statens Byggeforskningsinstitut, SBI) sem uppgötvaði þær. (11) Skemmdirnar í Danmörku voru aðallega í hafnarmannvirkjum á Vestur-Jótlandi þar sem virk steypuefni höfðu verið notuð. Danir tóku vandamálið mjög alvarlega og 1954 var þar stofnuð sn. „alkalínefnd“ sem hóf miklar rannsóknir og gaf út fjölda skýrslna sem byggingarreglur þar í landi voru síðan byggðar á. (11) Brátt heyrðist af tilfellum um alkalískemmdir í fleiri löndum, t.d. Bretlandi, Hollandi, Þýskalandi, Svíþjóð og Noregi en einnig löndum í öðrum heimsálfum, svo sem Kanada, Ástralíu, Indlandi og Suður-Afríku. (2) Víða var tregða hagsmunaaðila mikil að viðurkenna vandamálið og það seinkaði í mörgum tilvikum því að tekið væri á því. Nú eru alkalískemmdir þekktar í nær öllum löndum heims en þær eru mjög mismunandi algengar.

Hér á landi voru hafnar rannsóknir og aðgerðir gegn alkalíþenslu um áratug áður en skemmdir komu fram en aðgerðirnar voru of takmarkaðar til að koma í veg fyrir þær þar sem íbúðarhúsnæði var talið öruggt.

3. Alkalíránnsóknir á Íslandi og aðgerðir gegn alkalíþenslu árin 1967-1972

Árið 1965 var Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins stofnuð en áður hafði Atvinnudeild Háskólans, byggingarránnsóknir, séð um innlenda ránnsóknastarfsemi fyrir byggingariðnaðinn. Forstjóri stofnunarinnar, Haraldur Ásgeirsson, hafði bæði á námsárum í Bandaríkjunum og síðar, í samstarfi við SBI, kynnst ránnsóknnum og hættunni af alkalíþenslu í steinsteypu. Hann hóf alkalíránnsóknir á íslenskum steypuefnum sérstaklega m.t.t. hás alkalímagns í íslenska sementinu. Það uggvænlega kom fljótt í ljós. Eitt af steypuefnum sem í notkun voru á Reykjavíkursvæðinu var talsvert alkalívirkt. Þetta var efni sem nýlega þá var farið að dæla úr sjó af fyrirtækinu Björgun hf. Sjódælda steypuefnið var hreint og naut brátt mikilla vinsælda. Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins lýsti áhyggjum sínum við yfirvöld byggingamála bæði hvað varðaði virkni Björgunarefnisins og hás alkalíinnihalds íslenska sementsins. Miðað við erlenda reynslu var engin forsenda talin fyrir því að takmarka notkun Björgunarefnisins í íbúðasteypu af þessum sökum.

Þar sem uppi voru miklar áætlanir um byggingar á steiptum vatnamannvirkjum (virkjanir, brýr, hafnir) á árunum eftir 1965 þótti nauðsynlegt að huga vandlega að steypusamsetningu í þau. Stærstu mannvirkin sem á áætlun voru á þessum tíma var höfn í Þorlákshöfn og virkjanir í Þjórsá við Búrfell og Sigöldu Vegna þessara mannvirkja var sérstaklega talið nauðsynlegt að hefja ránnsóknir á hættu á alkalíþenslu í þeim. Samgöngu- og iðnaðarráðuneytið sem fór með mál byggingariðnaðarins tók málið upp síðla árs 1966 og í janúar 1967 skipaði ráðuneytið nefnd til þess að ránnsókn „þenslu og þar af leiðandi grotnun í steinsteypu“ eins og það var orðað í skipunarbréfi. Var þar átt við hættu á steypuskemmdum af völdum alkalíþenslu. Nefndin hóf þegar störf og fól hún Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins að framkvæma ránnsóknirnar.

Haraldur Ásgeirsson stjórnaði ránnsóknunum. Hann hafði þegar aflað sér mikillar þekkingar á málefnum svo sem áður var getið. Hafði hann t.d. áður haft samband og samráð við Bryant Mather hjá steypuránnsóknastofnun bandaríska hersins í Wicksburg Mississippi (U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station) til þess að fylgjast með þróun ránnsóknna á alkalíþenslu í Bandaríkjunum. Hann hafði nú einnig samband við dr. Gunnar Idorn sem mest hafði starfað fyrir alkalínefndina í Danmörku. Gunnar Idorn kom til Íslands sumarið 1967 til þess að vera íslensku alkalínefndinni til ráðgjafar. Í ránnsóknáætlun sem Gunnar lagði fyrir nefndina voru eftirfarandi atriði mikilvægust:

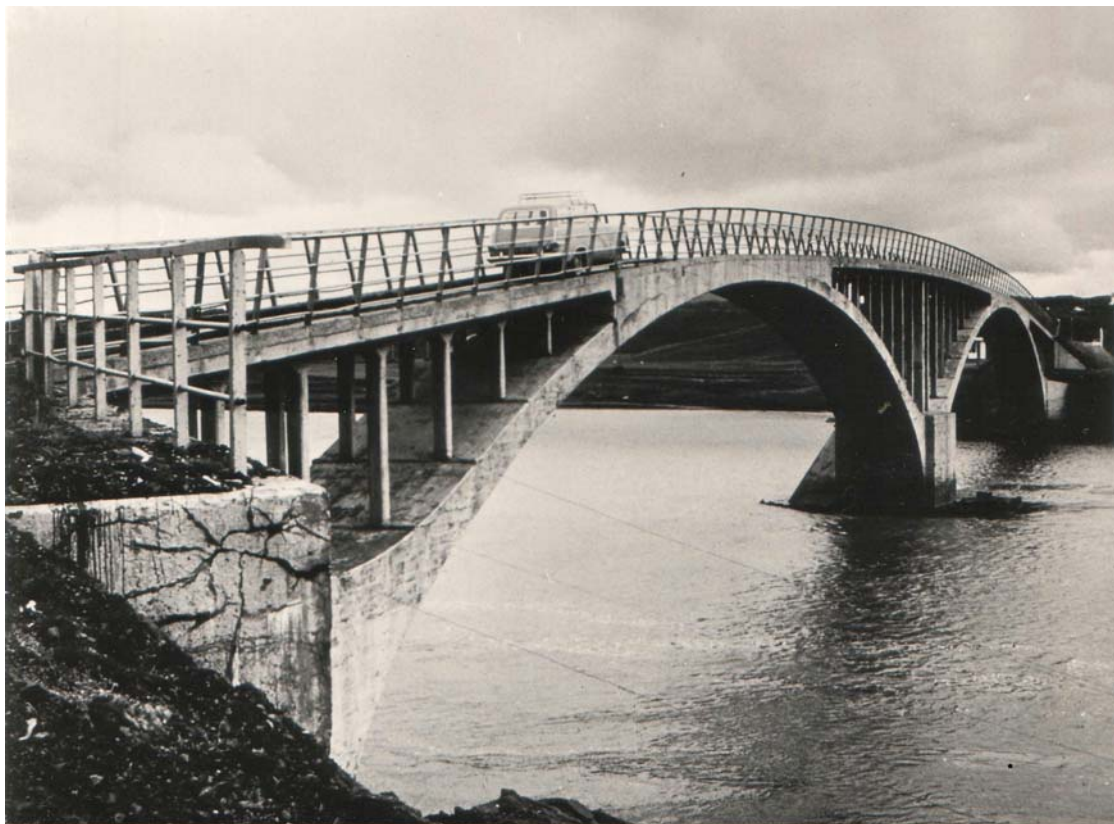
1. Ránnsóknir á mannvirkjum: yfirlitsskoðun, taka borkjarna og þenslumælingar.
2. Veðurfarsránnsóknir.
3. Ránnsóknir á steypuefnum og sementi.
4. Ránnsóknir á múr- og steypublöndum.
5. Áhrif þessólnefna á alkalíþenslu.
6. Áhrif hita, frost-þíðu, sjávar og annarra efna á alkalíþenslu.
7. Ránnsóknir á alkalíþenslu í steypu í veðrunarstöð.

Hér var um mjög viðamikið og metnaðarfullt ránnsóknastarf að ræða sem unnið var hjá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins og var stór þáttur í ránnsóknastarfi stofnunarinnar næstu áratugin á eftir og er reyndar enn í dag.

Haralaur Ásgeirsson fól dr. Guðmunda Guðmundssyni starfsmanni stofnunarinnar að hafa umsjón með ránnsóknááætluninni. Alkalínefnd voru síðan kynntar niðurstöður eftir því sem verkinu miðaði áfram. Aðrir sem komu að verkinu á fyrstu stigum voru dr. Óttar Halldórsson, sérfræðingur hjá stofnuninni og fyrsti ritari nefndarinnar, Jón Birgir Jónsson, verkfræðingur hjá Vegagerðinni, og Stefán Hermannsson, verkfræðingur hjá Reykjavíkurborg.

3.1 Ránnsóknir á mannvirkjum:

Yfirlitsskoðun mannvirkja var aðallega hugsuð til að kanna hvort alkalískemmdir væru fyrir hendi í íslenskum mannvirkjum. Grunur lék á að viss vatnamannvirki sem farin voru að láta á sjá af steypuskemmdum hefðu orðið alkalípenslu að bráð. Skoðun mannvirkja hófst þegar sumarið 1967. Voru t.d gamla Hvítárbrúin í Borgarfirði og stíflan við Andakílsvirkjun skoðaðar meðan á heimsókn Gunnars Idorn stóð. Eftir skoðun taldi hann að skemmdirnar í þessum mannvirkjum væru ekki alkalískemmdir. Sýni úr þeim staðfestu svo þetta síðar enda var ekki notað alkalívirkt steypuefni í þau. Ýmsar fleiri virkjunarstíflur voru skoðaðar, t.d. Sog, Ljósafoss, Steingrímsstöð, Laxá í Þingeyjarsýslu og Skeiðsfoss í Fljótum. Steypusandur í Skeiðsfossvirkjun var nokkuð alkalívirkur. Einhverjar steypuskemmdir voru í stíflunum en ekki neinar af völdum alkalívirgkni. Fleiri mannvirki voru skoðuð í framhaldinu, sérstaklega þau þar sem helst mátti búast við alkalívirgkni, t.d. Laugardalslaugin og fleiri sundlaugar. Ekki fannst heldur alkalívirgkni í steypunni í þeim. Eina tilfellið sem fannst á þessum fyrstu árum var byrjandi alkalívirgkni í höfninni í Þorlákshöfn, sem ekki leiddi þó til skemmda. Þessar niðurstöður þóttu góðs viti um hættuna á alkalívirgkni.



Mynd 4. Hvítárbrú í Borgarfirði 1967. (75)

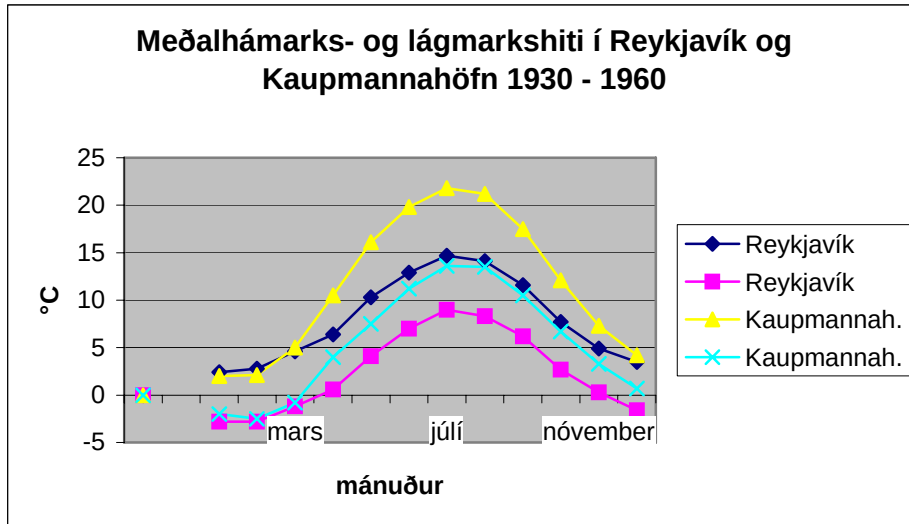
3.2 Veðurfarsrannsóknir:

Eðli alkalívirgkninnar gaf tilefni til athugunar á veðurfari hér miðað við önnur landsvæði þar sem alkalívirgkni hafði komið fram. Voru þar hafðir sérstaklega í huga veðurþættir svo sem hiti, úrkoma og vindhraði. Vitað var að alkalíþenslan jókst með auknu hitastigi en úrkoma og vindhraði getur haft áhrif á að vatn komist inn í steypuna.

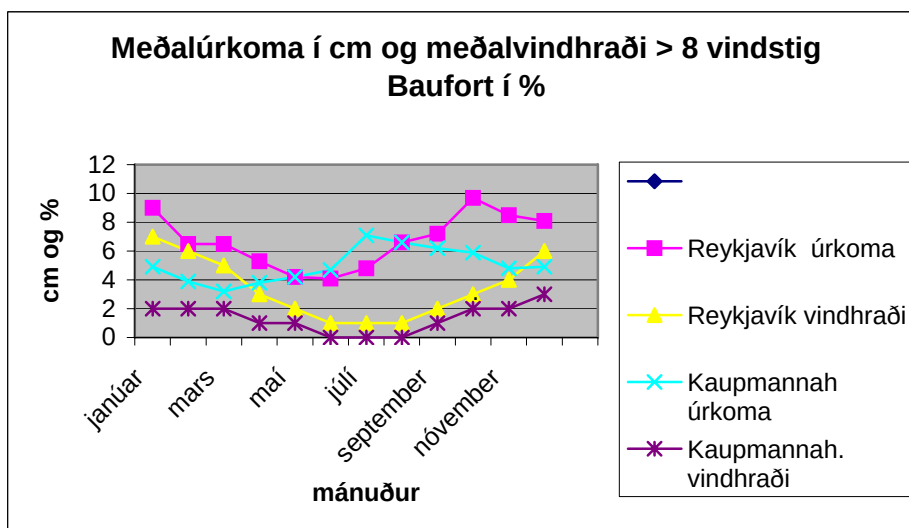
Haft var samband við Veðurstofu Íslands og þar fengnar upplýsingar um þessa veðurþætti á veðurfarstímabilinu 1930-1960. Einnig fengust þar samsvarandi upplýsingar frá vissum stöðum í Danmörku og Noregi, t.d. Kaupmannahöfn, Bergen og Tromsø. Þá var haft samband við rannsóknastofnanir í Kanada en þar höfðu komið fram alkalískemmdir í Ontario og Nova Scotia og veðurfarsupplýsingar fengnar þaðan.

Samanburður milli veðurfarsstærða þessara svæða við Ísland kom e.t.v. ekki á óvart. Hitafar var á Íslandi jafnara yfir árið en verulega lægra á sumrin. Úrkoma var víða eins mikil eða meiri og á Íslandi, t.d. var úrkoma í Halifax Nova Scotia að meðaltali 147 cm á ári á þessu tímabili, í Kaupmannahöfn var úrkoman 60 cm á ári og í Reykjavík 81 cm á ári (á Akureyri var úrkoman um helmingi minni en í Reykjavík). Það sem einkenndi íslenska veðrið var meiri vindhraði en erlendis og oftast fór saman í Reykjavík mikil úrkoma og mikill vindhraði. (mynd 4) Samanburður á frost-þíðuskiptum sýndi að þau voru svipuð í Reykjavík og Halifax á þessu tímabili, um 80 að meðaltali á ári. Í Kaupmannahöfn voru frost-þíðuskipti færri eða um 60 að meðaltali á ári.

Sérstaða Íslands fólst aðallega í sérstaklega mikilli haustúrkomu oft samfara vindhraða sem nemur 8-10 Beaufort-vindstigum. Þetta veðurlag getur haft mikil áhrif á flutning vatns utan frá inn í steypuna. Það heldur vatninu að henni lengur en annars (þekkt er að vatn getur jafnvel leitað upp vegg í miklum vindi) og ef hún er vatnsdræg verður vatnsísogið í hana meira. Þessar niðurstöður endurspegluðust í þeirri ályktun Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins frá þessum tíma að vera einnig á varðbergi gagnvart alkalívirgkni í íbúðarhúsum þar sem alkalívirgkni steypuefni voru notuð.



Mynd 5: Meðalhámarks- og lágmarkshiti í Reykjavík og Kaupmannahöfn árin 1930 – 1960. (2)



Mynd 6: Meðalúrkoma í cm og meðalvindhraði > 8 vindstig (Beaufort) í % af öllum mælingum í Reykjavík og Kaupmannahöfn árin 1930 – 1960. (2)

3.3 Rannsóknir á steypuefnum og sementi:

Íslenska sementið var eina sementið í notkun á þessum tíma. Eiginleikar þess voru þekktir. Steypuefni í landinu voru aftur á móti mörg og dreifð. Það varð að ráði að skoða sem flest þeirra. Svo vel vildi til að Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, í samvinnu við Vegagerð ríkisins, var að kanna, skrá og rannsaka steinefnanámur í landinu. Voru sýni tekin úr þeim og flutt til Reykjavíkur og eiginleikar þeirra metnir m.t.t. notkunar í ofaníbúð, steypu o.s.frv. Það var Sverrir Scheving Thorsteinsson jarðfræðingur sem sá um söfnunina. Fljótvirku stöðluðu efnafræðiprófi (ASTM C 289) til að kanna alkalívirkni steinefnanna var bætt við rannsóknakerfið á

steinefnunum. Þannig voru ránnsókuð í fyrsta áfanga 30-40 steypuefni sem voru í notkun víðs vegar um landið. Niðurstöður efnaprófunarinnar voru bornar saman við niðurstöður strengingaprófunarinnar (ASTM C 227) á vissum fjölda steypuefna til þess að gera sér betur grein fyrir mati á þeim. Niðurstöðurnar bentu til þess að flest efnanna væru frekar lítið virk og fá steypuefni þyrftu sérstakrar athygli við. Verst var að virkustu efnin voru í notkun á miklum þéttbýlissvæðum, þ.e. Reykjavík (Björgunarefni) og Akureyri (Glerárefni). Við allar frekari ránnsóknir var athyglinni mest beint að þessum efnun og öðrum steypuefnum sem notuð voru í miklu magni, svo sem á Reykjavíkursvæðinu, Suðurnesjum og Akureyri. Á Reykjavíkursvæðinu voru í notkun, auk steypuefnisins frá Björgun, efni frá Esjubergi, Fífuhvammi, Setbergi, og Rauðamel og voru strengingapróf gerð á þeim öllum. Þá voru í ránnsókn á þessum tíma steypuefni sem nota átti í virkjun við Sigöldu og einnig voru ránnsókuð steypuefni úr Ölfusinu vegna notkunar í höfnina í Þorlákshöfn. Öll þessi steypuefni að Björgunarefninu, efni frá Loftstöðum í Ölfusi og einu efni frá Sigöldusvæðinu undanskildum reyndust undir hættumörkun ASTM C 227. Mikill léttir var að aðalsteypuefnin sem ætluð voru til notkunar í Sigölduvirkjun voru ekki alkalívirgk.

Sementið sem notað var í þessum fyrsta ránnsóknááfanga var íslenska Portlandsementið frá Sementsverksmiðju ríkisins. Efnagreining á því sýnði að svonefnt natríumjafngildi, sem er samanlagt magn natríums og hlutfallslegs magns kalíums, var 1,5 %. (Við útreikning natríumjafngildis er lagt til grundvallar magn natríum- og kalíumoxíðs í sementinu eftir líkingunni: Na_2O jafngildi = $\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O}$.) Þetta magn alkalísambanda í íslenska sementinu, 1,5%, er mjög hátt miðað við sement almennt en venjulega er þetta magn 0,8 – 1,2%. Til þess að fá sem besta innsýn í áhrif sements með mismunandi alkalíinnihaldi voru fengin sýni af erlendu sementi, m.a. tvær sementstegundir frá Danmörku, Portlandsement og súlfatpólið sement, og þýskt sement með lágu alkalíinnihaldi (natríumoxíðjafngildi = 0,3 %).

3.4 Ránnsóknir á múr- og steypublöndum:

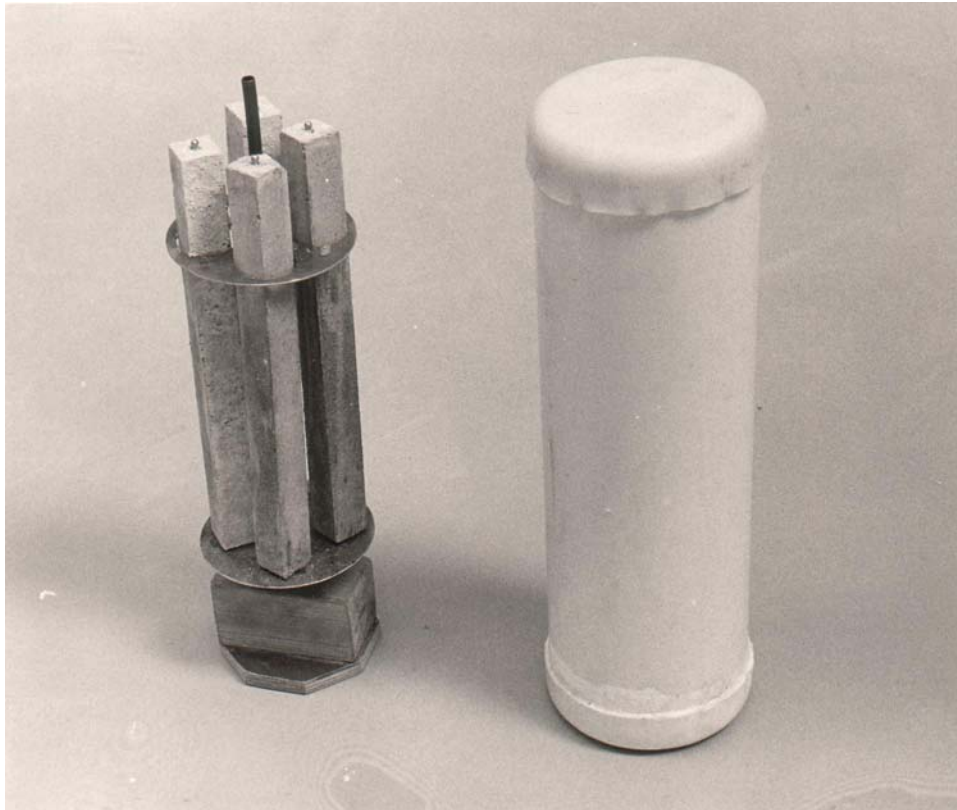
Alkalíránnsóknirnar sem voru framkvæmdar hjá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins fyrstu fimm árin voru aðallega bundnar við múrblöndur skv. ASTM C 227. Ránnsóknirnar á múrblöndunum beindust helst að eftirfarandi þáttum:

1. Alkalívirgkni steypuefna mæld með þensluprófun ASTM C 227 og samanburður gerður við hraðefnaprófun ASTM C 289.
2. Áhrif mismunandi sementstegunda á alkalíþenslu.
3. Áhrif salts og klórjóna á alkalíþenslu.
4. Áhrif hitastigs á alkalíþenslu.
5. Áhrif possólanefna á alkalíþenslu.

Samanburður á þensluprófun ASTM C 227 og efnaprófi ASTM C 289: (10, 2)

Þensluprófun ASTM C 227 byggist á mælingu á lengd og lengdarbreytingu mýrstrenginga. Viðkomandi steypuefni er mulið niður í sandstæ, stöðluð lengdarmælitæki sem mæla með 1/1000 nákvæmni. Strengingunum var komið fyrir í sértílbúnum plasthólkum, fjórum í hverjum, og þeim síðan komið fyrir í hitaeinangraðri kistu þar sem haldið var stöðugu hitastigi, 38°C, og 100%

hlutfallsraka. Þessi búnaður var hannaður og að mestu smíðaður hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.



Mynd 7: Plasthólkur og tilheyrandi grind til geymslu á alkalístrendingum í upphituðu plastkeri. (2)

Fyrsta mæling fór fram eftir einn dag þegar strendingarnir voru teknir úr mótunum en síðan eftir 1, 2, 3, 6, 9, og 12 mánuði. Viðmiðunarmörk ASTM um hættu af völdum alkalívirgni eru 0,1% eða meiri lenging eftir 6 mánuði. Steinsteypunefnd lagði til við byggingaryfirvöld að auka þessar kröfur í 0,05% eftir 6 mánuði og 0,1% eftir 12 mánuði og urðu þau við því.

Hraðefnaprófun ASTM C 289 byggist á upplausnarhæfni kísilsýru í steypuefnunum. Hún tekur um einn sólarhring. Er magn uppleystrar kísilsýru og samsvarandi skerðing á alkalímagni í upplausn með viðkomandi steypuefni í natríumlút mælt og niðurstöður settar í línurit þar sem uppleyst kísilsýra myndar x-ásinn og skerðing alkalímagns y-ásinn. Línuritinu er skipt í fjögur svæði eftir því hve hættan á alkalíþenslu er talin mikil.

Gerðar voru prófanir á um 35 sýnum af íslenskum steypuefnum eftir báðum þessum aðferðum. Niðurstöðurnar sýndu að íslensku steypuefnin falla ekki vel inn í ameríska flokkunarkerfið en samt kom í ljós að íslensk efni sem sýndu þenslu yfir settum mörkum skv. ASTM C 227 röðuðu sér á visst svæði á línuritinu og önnur sem sýndu litla þenslu röðuðu sér á annað svæði. Þannig fékkst nýtt en nokkuð gott samræmi milli beggja aðferðanna fyrir íslensku steypuefnin þannig að falli niðurstöður skv.

ASTM C 289 inn á afmarkað svæði línuritsins má með miklum líkindum álykta að efnið sé alkalíóvirgt. Falli niðurstaðan á önnur svæði er óhjákvæmilegt að gera strendingaprófun.

Strax á þessum fyrstu árum voru gerðar tilraunir með mælingar á steypustrendingum. Voru gerðar prófsteypur með algengustu steypuefnunum og steypdir strendingar, 10x10x60 cm og stáltappar settir í enda þeirra. Smíðað var lengdarmælitaeki fyrir þessa strendinga á verkstæði Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins. Voru strendingarnir geymdir við 38°C og 100% hlutfallsraka eins og múrstrendingarnir. Ekki tókst á þessum tíma að framkalla mælanlega þenslu né sprungur í steypustrendingunum.

Áhrif mismunandi sementstegunda á alkalíþenslu: (2)

Á þessum fyrstu fimm árum ránnsóknanna var aðeins gerður samanburður á þrem sementstegundum: íslensku Portlandsementi, Faxasementi og þýsku lágalkalísementi. Tilraunirnar sem gerðar voru með virku Björgunarefni sýndu að þensla með íslensku Portlandsementi var tvöföld leyfileg þensla eftir 12 mánuði, með þýska sementinu var þenslan nær engin en athygli vakti að með Faxasementinu var þenslan vel undir mörkum. Gaf þessi niðurstaða strax góð fyrirheit um jákvæð áhrif þessólanefna á alkalíþensluna.

Áhrif salts og klórjóna á alkalíþenslu: (2)

Sjór skapar mesta hættu á að salt komist í steypu. Því var sjávarvatn notað sem steypuvatn við prófanirnar. Prófanir með virkum Björgunarsandi og íslensku Portlandsementi sýndu að væri sjór notaður sem steypuvatn tvöfaldaðist þenslan. Með Faxasementinu breyttist þenslan lítið sem sýnir glögg kosti þessólanefnanna fram yfir lágalkalísementið en það sýndi hlutfallslega þensluaukningu við aukið alkalímagn í múrblöndunni.

Á þessum tíma var algengt að nota kalsíumklóríð (2% af sementsþyngd) til hröðunar á hörðnun steypu, sérstaklega í vetrarsteypur. Þótti fróðlegt að athuga hvort kalsíumklóríð hefði áhrif á þróun alkalíþenslu. Niðurstaða þessara ránnsóknna var að mörgu leyti áhugaverð. Þenslan með íslenska Portlandsementi jókst lítillega en hafði í för með sér fimmfalda aukningu á þenslu með þýska lágalkalísementi. Erlendar ránnsóknir hafa sýnt niðurstöður sem benda í sömu átt og eru skýrðar með því að klórjónin virki sem hvati (catalysator) á efnahvarfið. (12) Höfundar erlendu ránnsóknaskýrslunnar áttu þó erfitt með að skýra þessi áhrif kalsíumklóríðsins til aukningar á alkalíþenslu.

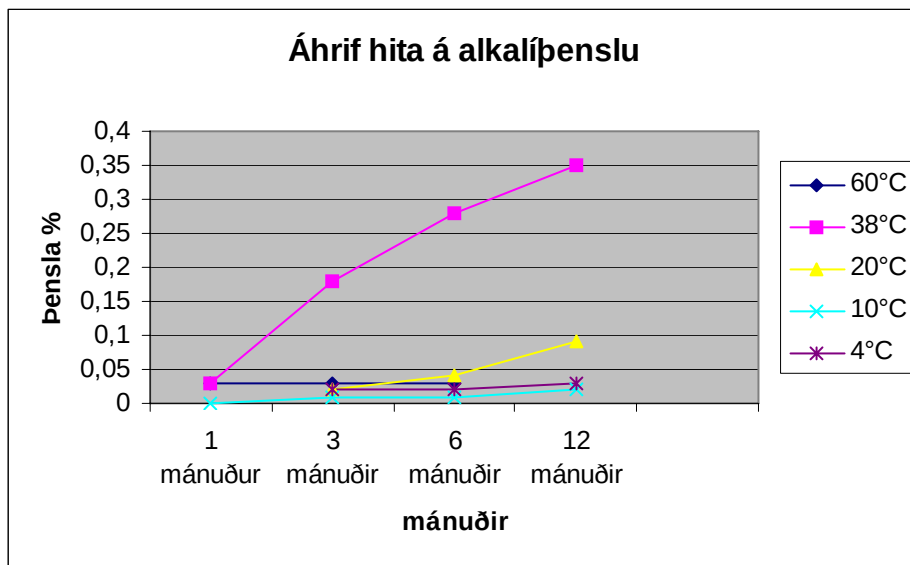
Áhrif hitastigs á alkalíþenslu: (2)

Eins og fram kom í veðufarsránnsóknunum er hitastig á Íslandi mjög temprað miðað við önnur lönd, þ.e. á veturna er hitastig tiltölulega hátt en á sumrin lágt. Upphaflegu alkalíránnsóknirnar í Bandaríkjunum sýndu að þenslan er mest við 38°C og það hitastig er því notað við allar strendingaprófanir. Lágur meðallofthiti yfir árið og litlar hitasveiflur áttu að minnka líkurnar á hættu á alkalívirgna hér á landi. Þetta þótti þó það mikilsvert atriði að ránnbaka bæri það betur. Erlendar ránnsóknir höfðu t.d. sýnt

að við hitastig hærra en 38°C minnkaði hættan á alkalíþenslu. En hvernig var með þenslu við lægra hitastig?

Ákveðið var að rannsaka áhrif hitans á alkalíþensluna við fimm mismunandi hitastig: 60°C, 38°C, 20°C, 10°C og 4°C. Tilraunin með 60°C var framkvæmd í einangruðu kerfi með sjálfvirku hitakerfi. Stofuhiti á stofnuninni var notaður fyrir 20°C, fengin var sérstök kælikista sem stillt var á 10°C en leita varð á náðir annarra aðila með geymslu við 4°C. Voru þau sýni fyrst geymd í meðalageymslu Reykjavíkrapóteks en síðar í kæligeymslu Ránnsóknastofnunar fiskiðnaðarins.

Niðurstöður þessarar ránnsóknar urðu áhugaverðar eins og sést á línuritinu:



Mynd 8: Áhrif hita á alkalíþenslu. (2)

Á línuritinu kemur fram með afgerandi hætti hver áhrif hitastig hefur á þróun alkalívirgna. Langmest er þenslan við 38°C, verulega minni við 20°C og langminnst við 10°C og 4°C. Lítil þensla við 60°C er í mótsögn við að hraði efnahvarfa aukist með hitastiginu. Erlendir ránnsakendur hafa skýrt þetta með því að með hærri hitastigi en 38°C verði kísilhraupið sem veldur þenslunni þunnfljóttandi og við það minnkar þrýstingur innan steypunnar og þar með þenslan.

Með tilliti til veðurfarsupplýsinganna um hitastig hérlandis þóttu þessar niðurstöður mjög jákvæðar og gefa til kynna að lítil hætta væri á alkalívirgna hér á landi þar sem hitastig færi sjaldan yfir 15-20°C.

Áhrif þessólanefna á alkalíþenslu:

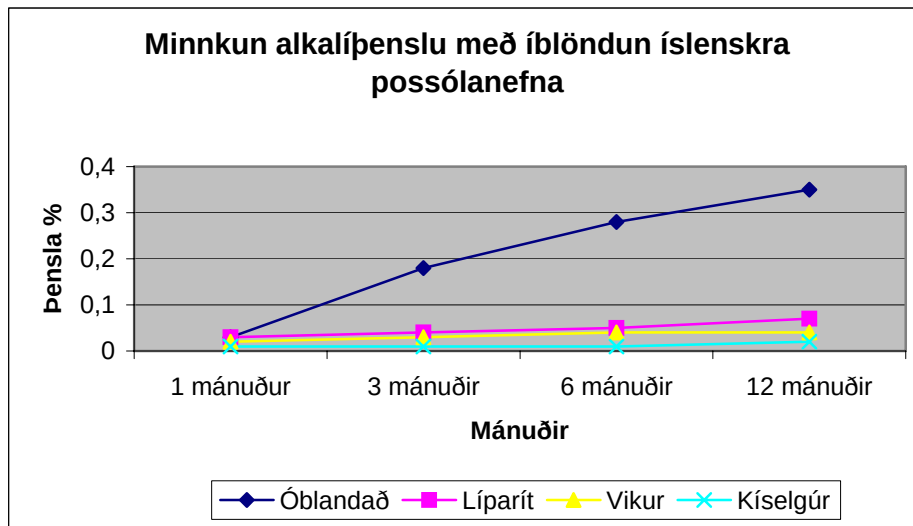
Efni með þessólaneiginleika eru skilgreind þannig að þau séu efni sem innihaldi kísilsýru- og álsambönd sem í sjálfu sér séu ekki vatnsbindandi eins og sement. En sé fínkorna þessólanefnum blandað saman með sementi og vatni ganga þau í efnasamband við kalkhydrat ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sem myndast við vatnsbindingu sementsins og mynda þannig svipuð efnasambönd og sementið. Þessi efnaskipti ganga

hægar en vatnsbinding sementsins en stuðla að meiri efnismyndun í steypunni og þar með meiri þéttleika og styrk.

Nafnið Possólan er komið frá Ítalíu, dregið af nafni þorpsins Pozzuli sem liggur nærri eldfjallinu Vesuvius en þar finnst eldfjallaaska sem hefur þessa eiginleika. Þessi eldfjallaaska var notuð sem bindiefni ásamt brenndu kalki á dögum Rómverja og gaf blandan svo góða possólansteypu að hún er aðgengileg enn þann dag í dag, t.d. í rústum Pompeji – borgar sem eyddist í eldgosi frá Vesuvius árið 73 e.K. Gosefnið líparít sem hefur possólaneiginleika ber einnig nafn ítalskrar eyju, Lipari, sem liggur í grennd við Sikiley en þar mun þessi bergtegund finnast.

Rannsóknirnar með mismunandi sementstegundum og minni alkalíþensla með Faxasementi en Portlansementi staðfestu að possólanefni drægju úr alkalívirgna í steypu. Kostir þess að nýta áhrif possólanefna til varnar hættunni á alkalívirgna á Íslandi voru augljósir. Í fyrsta lagi virka possólanefni þó að umhverfi steypunnar sé salt eins og fram kom við notkun sjávarvatns í stað steypuvatns. Þennan kost hefur lágalkalísement ekki. Þá var það þekkt að ýmis jarðefni af eldfjallauppruna hafa góða possólaneiginleika og hafa verið nefnd náttúrupossólanar. Í Faxasementi var íblöndun bæði líparíts og móbergs. Það lá því beint við að kanna hvort meðal íslenskra súrra gosefna fyndust efni með betri possólaneiginleikum en íblöndunin í Faxasementið.

Í ljós kom að móberg hefur veika possólaneiginleika. Gerðar voru tilraunir með súr gosefni, líparít, vikur og kísilgúr með mýrstrendingaaðferð ASTM C 227. Notaður var sem fyrr Björgunarsandur og íslenskt Portlandsement. Niðurstaðan var að 10% íblöndun allra þessara efna gátu dregið úr alkalíþenslunni niður fyrir tilskilin mörk; 0,1% þensla eftir 12 mánuði eða 0,05% eftir 6 mánuði:



Mynd 9: Minnkun alkalíþenslu með 10% íblöndun þriggja íslenskra náttúrupossólanar. (2)

Sterkustu possólaneiginleikana hefur kísilgúrin, þá vikurinn og síð er líparítið. Þó eru öll undir þeim öryggismörkum sem sett voru síðar af byggingaryfirvöldum.

3.5 Mat á ránnsóknaniðurstöðum fyrstu fimm áránnna: (2)

Veðurfarsránnsóknirnar voru e.t.v. þær nýstárlegustu af þessum ránnsóknunum. Þær sýndu að íslenska veðurfarið, sérstaklega sunnanlands, einkenndist af miklu regni samfara miklum vindstyrk. Afleiðing þess gat þýtt lengri viðdvöl vatnsins, sérstaklega á lóðréttum flötum, og meiri hættu á uppsöfnun raka í steypunni og þar með meiri hættu á alkalívirgna og ekki síður á frostþenslu. Síðari ránnsóknir sýndu svo að óþétt og sprungið yfirborð steypunnar með tilheyrandi hárpípukröftum höfðu miklu meiri áhrif á vatnsupptöku steypunnar en þrýstingur vegna vindhraðans. (17)

Þá sýndu ránnsóknirnar þar sem sjór var notaður sem steypuvatn mikla þensluaukningu og minnti það á hættu frá sjódældum steypuefnum, sérstaklega Björgunarefninu. Þetta voru m.a. rök Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins er hún hvatti til varkárni jafnvel í íbúðarbyggingum.

Aðrar ránnsóknaniðurstöður voru til þess fallnar að draga úr ótta manna við hættu á alkalískemmdum, sérstaklega áhrif hitastigs á hraða alkalíþenslunnar. Sterk áhrif þessólaníblöndunar til að draga úr alkalíþenslunni voru þó mikilvægustu niðurstöðurnar en þær sýndu að með íblöndun um 10% af þekktum íslenskum náttúruþessólönunum var hægt að minnka þensluna undir öryggismörk.

Í ljósi ránnsóknaniðurstöðanna tók Steinsteypunefndin snemma þá grundvallarafstöðu að snúast til varnar gegn alkalíhættunni með því að blanda nægilega miklu af þessólanefnum í íslenska sementið svo að það útilokaði skaðlega alkalívirgna í steypu hér á landi.

4. Alkalírannsóknir á Íslandi og uppgötvun alkalískemmda 1970-1985

4.1 Kísilrykið:

Þáttaskil urðu í rannsóknum og allri þróun mála vegna hugsanlegrar hættu á alkalískemmdum þegar hafinn var undirbúningur að byggingu kísiljárnverksmiðju á Grundartanga í Hvalfirði en hann hófst fyrir alvöru árið 1972. Eitt af vandamálunum við byggingu verksmiðjunnar varðandi mengun frá henni var mjög fínt ryk sem myndast við framleiðsluna í kísiljárnsofnum hennar og fangað er í pokasíur. Vandamálið var hvað gera skyldi við rykið. Bandaríska fyrirtækið Union Carbide varð fyrsti samstarfsaðili íslenska ríkisins þegar fyrirtækið Íslenska járnblendifélagið var stofnað árið 1975. Leitaði Union Carbide m.a. til Rannsóknaráðs ríkisins um aðstoð við að leysa rykvandamálið og lét fylgja upplýsingar um þá möguleika til að nýta rykið til gagns sem þá var vitað um. Einn af þessum möguleikum var íblöndun ryksins í steypu til að auka þéttleika hennar. Um þetta voru til rannsóknaniðurstöður erlendis frá, m.a. frá Noregi og Kanada. (13) Hafði Vilhjálmur Lúðvíksson hjá Rannsóknaráði samband við Sementsverksmiðju ríkisins og bað hana að meta hvort þetta ryk gæti gagnast við sements- og/eða steypuframleiðslu hérlandis. Fékkst gott sýni frá Union Carbide sem umsvifalaust var sent til Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins.

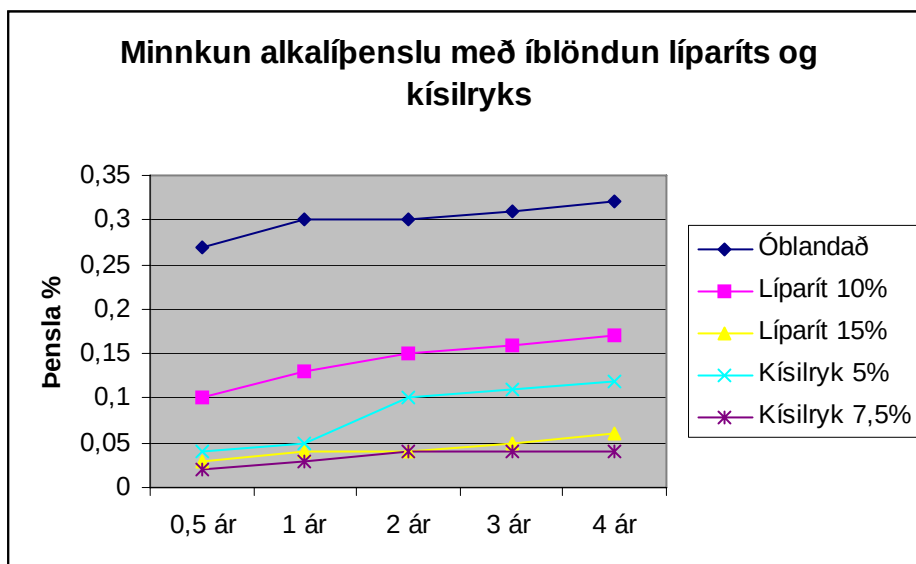
Þeir sérfræðingar sem unnið höfðu að alkalírannsóknum við stofnunina sáu strax þá möguleika sem þetta efni gat gefið sem mótefni gegn alkalívirgkni. Eiginleikar þess bentu til þess að það hefði mjög sterka possólanvirgkni. Þessir eiginleikar voru: hátt efnahlutfall ókristallaðrar, glerkenndrar kísilsýru og mjög mikill fínleiki.

Possólaneiginleikar kísilryksins stóðust allar væntingar, alkalímælingar sýndu að 5% íblöndun hafði jafn mikil áhrif og 10 - 15% íblöndun líparíts. Aftur á móti kom í ljós að kísilrykið jók vatnspörf steypunnar sem dró verulega úr væntingum til þess. Ástæðan var mikill fínleiki ryksins. Jafnframt hefðbundnum rannsóknum á notkun ryksins sem possólanefnis og bætiefnis í steypu hófust nú rannsóknir á því hvernig mætti bæta eiginleika ryksins sjálfs þannig að vatnspörf steypunnar minnkaði án þess að possólaneiginleikar þess rýrnuðu.

Union Carbide hætti þátttöku í Íslenska járnblendifélaginu 1976 og norska fyrirtækið Elkem tók við. Elkem meðhöndlaði kísilrykið frá sínum verksmiðjum á þann hátt að það var þétt með loftstraumi í sérstökum tækjum þannig að það varð meðfærilegra, t.d. við urðun. Við þéttunina varð samloðun rykkornanna aukin og fínleikinn minnkaði. Sýni af þessu ryki frá Noregi sýndi strax að rykið meðhöndlað á þennan hátt gaf góða möguleika á að ná þeim árangri sem að var stefnt.

Rannsóknirnar á kísilrykinu urðu mjög umfangsmiklar og vandamálin sem því fylgdu í upphafi töfðu tímann. Einnig höfðu margir erlendir vísindamenn efasemdir um gagnsemi ryksins einmitt vegna fínleikans. Á áttunda áratugnum þegar rannsóknirnar hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins á possólanvirgkni kísilryksins stóðu sem hæst voru rannsóknir í gangi víða erlendis á áhrifum kísilryksins á eiginleika steypu. Má þar minnst sérstaklega á Noreg (Tækniháskólinn í Þrándheimi) og Kanada (13) en kísiljárnframleiðsla er mikil í þessum löndum. Fyrsta erlenda tímaritsgreinin um possólaneiginleika kísilryks kemur frá Noregi og birtist 1978 í ítalska tækniritinu IL Cimento. (14) Fyrsta greinin um áhrif kísilryks til varnar alkalívirgkni kemur 1978 frá

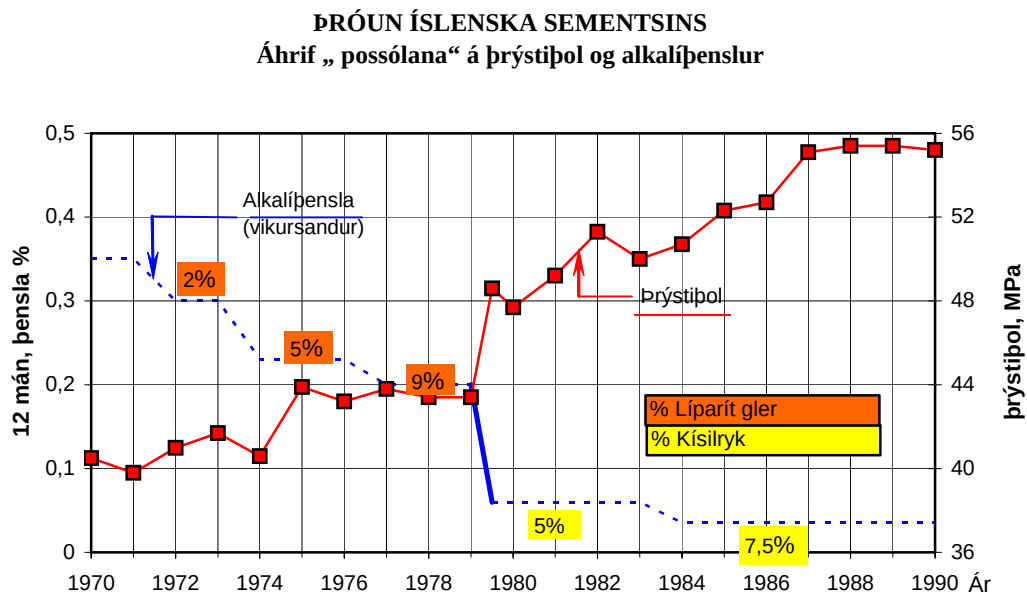
Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, höfundur: Haraldur Ásgeirsson. (15) Árið 1979 kom svo grein eftir Guðmund Guðmundsson og Harald Ásgeirsson í tímaritinu Cement and Concrete Research. (16) Þessar rannsóknir kynntu svo höfundarnir á 6. alþjóðaráðstefnu um alkalívirgni í Kaupmannahöfn 1983. (17) Á 5. alþjóðaráðstefnunni í Cape Town 1981 var ekkert erindi um kísilryk sem varnarefni gegn alkalívirgni en minnst var á íslensku rannsóknirnar í samtölum og fram kom að fleiri voru farnir að skoða kísilrykið. (18) Þróun mála varð sú að fram undir 1980 var takmarkaður áhugi á kísilryki til steypugerðar en á því varð mikil breyting eftir 1980 og birtist þá fjöldi greina víðs vegar úr heiminum um áhrif kísilryksins til að bæta flesta eiginleika steypunnar, svo sem styrk, rýrnun, frostþol og þol gegn alkalívirgni. (21) Má segja að í dag sé kísilryk ómissandi í hágæðasteypu sem þola á ágengt og erfitt umhverfi. Er kísilrykinu þá jafnan bætt í steypuna við framleiðslu annað hvort sem dufti eða leðju. Er þá venjulega notuð 5-8% miðað við þyngd sements.



Mynd 10: Minnkun alkalípenslu með tveim mismunandi %-hlutum íblöndun af líparíti og kísilryki. (19, 20)

Vegna sérstakra aðstæðna á Íslandi þar sem járnblendiverksmiðja var reist nærri Sementsverksmiðjunni var ákveðið að freista þess að blanda kísilrykinu saman við allt sement framleitt í verksmiðjunni. Er Íslenska járnblendifélagið hóf kísiljárnframleiðslu í verksmiðjunni á Grundartanga hófst þegar íblöndun kísilryks í sementið og voru niðurstöður rannsókna Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins hafðar að grundvelli. Eftir erfitt þróunarstarf í Sementsverksmiðjunni tókst að framleiða sement sem blandað var 5,5% af kísilryki og síðar var um 2% af líparíti blandað í það til viðbótar aðallega af tæknilegum ástæðum þar sem líparítið hafði mjög jákvæð áhrif á flutningshæfni ryksins í loftþrýstikerfum (pneumatic air transport). Áhrif íblöndunar kísilryksins í íslenska sementið ásamt öðrum aðgerðum við steypuframleiðslu, svo sem þvott á sjódældu steypuefni, varð til þess að skaðlegar alkalípenslur hafa ekki fundist í húsum byggðum eftir 1979. (22)

Þessi árangur var að sjálfsögðu mikils virði fyrir þá sem stóðu að Steinsteypunefnd og staðfesting á því að rétt var að málum staðið. Auk þess sem íslenska sementið hafði sýnt að það stæðist kröfur um vörn gegn alkalívirgkni höfðu aðrir eiginleikar þess aukist mjög mikið. Tíu árum eftir að kísilblandaða sementið hafði náð endanlegri samsetningu settu Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og Sementsverksmiðja ríkisins saman línurit sem sýnir gæðapróun íslenska sementsins á 20 ára tímabili 1970-1990. (24)



Mynd 11: Þróun styrks og vörn gegn alkalívirgkni íslenska sementsins 1970 – 1990. (24)

Íblöndun kísilryksins í sement fór fram í Sementsverksmiðjunni á Akranesi sem var fram til 1990 eini staðurinn í heiminum þar sem kísilrykssement var framleitt. Í Kanada hófst framleiðsla á slíku sementi 1990 í tveim verksmiðjum. (23)

Um 1985 var hafin þróun á nýju virkjanasementi vegna Blönduvirkjunar í samvinnu við Landsvirkjun og Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. Ástæðan var að steypuefni þar voru nokkuð alkalívirgk svo að öruggara þótti að nota sement með sterkari possólanvirgkni en Sigöldusementið sem notað var í Sigöldu- og Hrauneyjafossvirkjanir og blandað var með 25% líparíti. Í nýja sementið, sem nefnt var Blöndusement, var blandað 25% af líparíti og 10% af kísilryki. Þetta sement hefur mjög sterka possólaníska eiginleika og varnarmátt gegn alkalíþenslu og hefur verið notað í fleiri mannvirki sem verða fyrir mikilli áraun.

Blöndun possólanefna í allt sement varð til þess að mikið öryggi fékkst gegn alkalívirgkni alls staðar á landinu. Það öryggi tryggði íslenska sementið meðan það var eitt á markaði hér á landi. Nú, þegar erlendar sementstegundir eru komnar til sögunnar, er nauðsynlegt að gæta þeirrar varúðar sem Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins hvatti til fyrir um 40 árum, t.d. er ekki að fullu öruggt að nota lágalkalísement þar sem alkalísólt geta komist í steypuna (t.d. sjór) eða smogið inn í steypuna af öðrum orsökum (t.d. frostvarnarsólt sem berast inn í bílageymslur).

4.2 Uppgötvun alkalískemmda og könnun þeirra:

Eins og að framan var sagt bentu allar erlendar rannsóknir á alkalískemmdum til þess að þær kæmu einungis fram í mannvirkjum sem sífellt væru í snertingu við vatn. Alkalískemmdir í íbúðarhúsnæði voru ekki þekktar. Árið 1975 komu 18 erlendir alkalísérfræðingar til Íslands í tilefni 2. alþjóðaráðstefnunnar um alkalívirgni í Reykjavík. Þeir skoðuðu hús í Reykjavík m.t.t. alkalískemmda en urðu einskis varir. Þetta þótti staðfesta hið almenna álit að alkalískemmdir kæmu ekki fyrir í íbúðarhúsnæði. Í vatnamannvirkjum höfðu til þess tíma heldur ekki komið fram alkalískemmdir þó að fundist hefði alkalíhlaupmyndun í borkjörnum, t.d. úr höfninni í Þorlákshöfn.



Mynd 12: 2. alþjóða-alkalíráðstefnan í Reykjavík 1975. Haraldur Ásgeirsson er ráðstefnustjóri en fyrirlesari er John Figg frá sement- og steypusambandinu í Bretlandi (British Cement and Concrete Association). (8)

En stuttu eftir ráðstefnuna í Reykjavík kom upp grunur um alkalískemmdir í einbýlishúsi í Garðabæ. (25) Í fyrstu var þessum grunsemdum mætt með mikilli varfærni en borkjarnar úr húsinu sendir til rannsóknastofnunar Álaborgarsementsverksmiðjanna í Karlstúp sem Gunnar Idorn veitti forstöðu og var talin fremst í Evrópu á sviði alkalíránnsóknna. Endanleg niðurstaða stofnunarinnar kom sumarið 1976 þar sem fram kom að um alkalískemmdir væri að ræða. Niðurstaðan kom skömmu fyrir 3. alþjóðaráðstefnu um alkalívirgni í London 1976 og var kynnt þar. Sem gefur að skilja kom hún mjög á óvart og var henni tekið með nokkrum efasemdum.

Niðurstöðurnar voru steinsteypunefnd mikið áfall og var öllum ljóst að endurskoða þyrfti starf nefndarinnar m.t.t. þess að alkalískemmdir væru orðin staðreynd í landinu en fram til þess tíma höfðu vonir verið bundnar við að við losnuðum alveg við þetta vandamál. Nú voru alkalískemmdir hins vegar orðnar að veruleika og í mannvirkjagerð sem síst skyldi.

Viðbrögð Steinsteypunefndar og Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins við uppgötvun alkalískemmdanna voru fumlaus og snör. Má það örugglega þakka hinu mikla ránnsókná- og þróunarstarfi og þeirri reynslu sem aflað hafði verið frá því að ránnsóknirnar hófust. Í samvinnu við byggingaryfirvöld var hrundið af stað viðamikilli könnun á útbreiðslu alkalískemmda í húsum, fyrst á Reykjavíkursvæðinu en síðar víðar um land, svo sem á Akureyri og Suðurnesjum.

Á fundi Steinsteypunefndar 28. september 1976 var alkalívandinn ræddur og eftirfarandi átriði talin forgangsverkefni. (26)

1. Skoðun mannvirkja m.t.t. steypuskemmda og þær greindar.
2. Bæta ránnsóknáðstöðu Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins til ránnsókná á alkalívirgkni og alkalískemmdum. Helst var talin vanta aðstaða til smásjáránnsókna á steypuefnum og steypu og sérfræðilega þekkingu til þess konar ránnsókná.
3. Leggja aukna áherslu á þossólaníblöndun í íslenskt sement.

Skoðun mannvirkja:

Áætlun um skoðun mannvirkja var lögð fram þegar í byrjun árs 1977. Að henni stóðu Hákon Ólafsson yfirverkfræðingur Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins og dr. Ríkharður Kristjánsson sem stjórnaði verkefninu, sem nefnt var Steypuskemmdir í mannvirkjum - ástandskönnun. Markmið verkefnisins var:

„Að kanna útbreiðslu steypuskemmda, einkum m.t.t. alkali-kísil efnahvarfa í steinsteypu. Jafnframt að kanna í hvers konar mannvirkjum slíkar skemmdir eru algengastar og hvort húsagerð og yfirborðsmeðhöndlun séu áhrifavalðar. Að auki er ætlunin að flokka og kanna aðrar tegundir steypuskemmda og tíðni þeirra.“

Væntanlegur árangur af könnuninni var:

„ 1. Að geta betur metið en áður, hvort hætta sé á skemmdum af völdum alkali-kísil efnahvarfa.

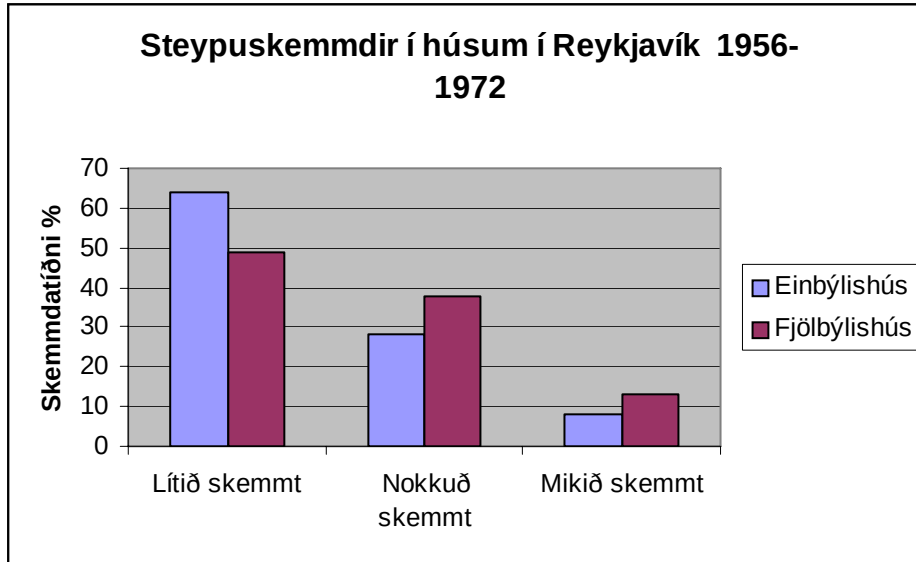
2. Að geta gert réttari kröfur varðandi eiginleika hráefna í steypu

3. Nokkur flokkun fæst yfir aðrar algengar steypuskemmdir og tíðni þeirra.“

Könnun mannvirkja hófst síðla árs 1977 og hana gerðu sameiginlega þeir Hákon Ólafsson og Ríkharður Kristjánsson. Árið 1979 lágu svo niðurstöður könnunarinnar fyrir í vandaðri skýrslu eftir Ríkharð Kristjánsson. (27)

Skoðuð voru hús sem byggð voru á árunum 1956-1972. Könnunin fór þannig fram að dregin voru út af handahófi hús byggð á þessu árabili. Útdregnu húsunum var síðan raðað eftir byggingarári. Varð fjöldi skoðaðra húsa um 300, mismunandi eftir árum en sveiflaðist oftast milli 15 og 30 húsa hvert ár. Mjög miklu magni upplýsinga var safnað og tölva notuð við úrvinnslu þeirra.

Í niðurstöðum kemur fram að skemmdir í húsum á þessu árabili af völdum alkalívirgkni séu meiri en gert hafi verið ráð fyrir þó að aðrar steypuskemmdir séu þar yfirgnæfandi. Mikið bar á skemmdum vegna rangrar hönnunar sérstaklega í fjölbýlishúsum þar sem um 60% sýndu hita- og rýrnunarsprungur. Meðalfjöldi alkalískemmda var á sama tíma um 6,6%.



Mynd 13: Steypuskemmdir í húsum byggðum í Reykjavík 1956-1972. (27)

Athugun á húsum á Akureyri sýndi miklu minni alvarlegar steypuskemmdir. Ekki hafði þá reynst tími til að greina orsök skemmdanna á Akureyri en alkalískemmdir taldar ólíklegar.

Meðaltíðni alkalískemmda reyndist í könnuninni vera 6,6% en náði hámarki, 1968 10%,

Smásjárránnsóknir:

Úr mörgum þeirra húsa sem skoðuð voru og frá er greint í skýrslu Ríkharðs voru boraðir steypukjarnar og úr þeim tekin sýni til smásjárránnsóknna. Fenginn var erlendur sérfræðingur með sérþekkingu á því sviði til að kenna starfsmönnum Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins smásjártæknina. Var þetta Niels Thaulow frá Tehnologisk Institut í Kaupmannahöfn en hann hafði áður unnið hjá Gunnari Idorn í Karlstrup við alkalíránnsóknir. Hann kom haustið 1978 og starfaði í 2-3 vikur með starfsmönnum stofnunarinnar. Í skýrslu Ríkharðs Kristjánssonar (27) er smásjárránnsóknunum lýst og kemur þar fram að niðurstöður þeirra um alkalívirgkni í steypunni voru vel í samræmi við niðurstöður skoðunarinnar.

Í skýrslunni fjallar Ríkharður Kristjánsson um orsakir steypuskemmda hér á landi og hvernig megi best bregðast við þeim áhrifum sem þeim valda og benti á atriði sem betur þyrfti að kanna. Meðal annars kemur fram atriði sem fyrirferðarmikið var á borði Steinsteypunefndar um þetta leyti en það var magn alkalísalta í sjódældu steypuefnunum og krafan um að öll slík steypuefni yrðu þvegin.

Gunnar Idorn gerir úttekt á skýrslu Ríkharðar í útdrætti á ensku vorið 1979 þar sem eftirfarandi kemur fram þýtt yfir á íslensku: (28)

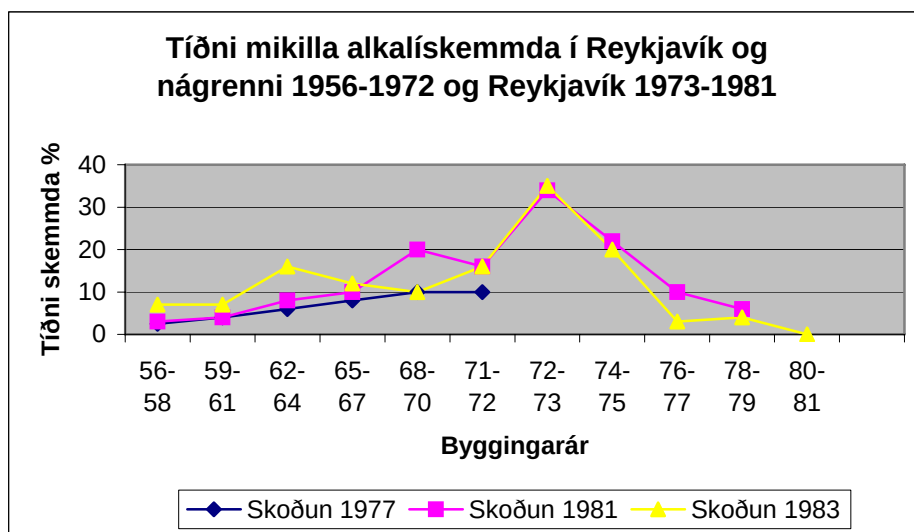
„ Fyrirliggjandi skýrsla sýnir húsaskoðun sem áreiðanlega fyrirmynd til að meta áhrif alkalívirgna. Ástæðan er sú að hús og mannvirki á Íslandi eru eingöngu byggð úr steinsteypu. Veðurfarið (temprað, rakt og kalt) gefur skilyrði til hægfara alkalívirgna. Alkalíinnihald íslenska sementsins er hátt (1,5% Na₂O - jafngildi) svo að jafnvel glerkennd meðalsúr gosefni sýna alkalívirgna og kísilsýrurík gosefni (t.d. líparít) eru enn virkari. Í könnuninni var fundin leið til að greina frostskemdir og rýrnunarsprungur frá sprungum af völdum alkalíþenslu.

Athyglisverð er sú staðreynd að skortur á þvotti sjódældra steypuefna hefur valdið meiri alkalískemmdum en ef efnin hefðu verið þvegin. Könnunin sýnir að alkalískemmdirnar eru miklar og hafa myndast síðustu 10-12 ár og eru sennilega enn að myndast. Vonandi verður könnunin endurtekin eftir 5-10 ár því að þannig myndi Ísland hafa framkvæmt einstaka langtíma könnun á endingu steinsteypu við aðstæður í ágengu norrænu veðurfari.

Þetta er fordæmi fyrir stærri þjóðir hvernig íslenskur sementsiðnaður, byggingayfirvöld og byggingarannsóknir hafa tekið sameiginlega á vandamálinu.“

Gunnar Idorn mælti með að grein um þessa könnun yrði birt í tímaritinu Cement and Concrete Research en af því varð ekki.

Á tímabilinu voru þrisvar sinnum framkvæmdar skoðanir á húsum og mannvirkjum í Reykjavík og nágrenni. Fyrsta skoðunin var framkvæmd 1977 af Hákonni Ólafssyni og Ríkharði Kristjánssyni (27) eins og fram kom áður, síðan af Hákonni Ólafssyni og Tryggva Ólasyni 1981 (1) og 1983 af Hákonni Ólafssyni og Bjarna R. Þórðarsyni. (29) Hækkun á skemmdatíðni 1973 er vegna þess að frá þeim tíma voru aðeins metin hús í Reykjavík en þar voru hlutfallslega fleiri hús alkalískemmd en á öllu Reykjavíkursvæðinu.



Mynd 14: Tíðni mikilla alkalískemmda í Reykjavík og nágrenni 1956-1972 og Reykjavík 1973-1981. (28)

4.3 Könnun á alkalívirgni steypuefna og áhrif salts á alkalíþenslu:

Í kringum 1980 voru gerðar umfangsmiklar þenslumælingar á steypuefnum víðs vegar af landinu og landinu skipt í námusvæði í samræmi við þjóðskrá Hagstofu Íslands á korti þar sem námurnar eru merktar inn á með númeri. Um þessar ránnsóknir kom út skýrsla frá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins 1983 eftir Hákon Ólafsson og Þorgeir Helgason. (30) Auk steypuefnaránnsóknanna eru í skýrslunni ránnsóknir á áhrifum salts, varma og þessólana á alkalívirgni.

Í skýrslunni eru niðurstöður allra prófana á alkalívirgni steypuefna sem gerðar voru hjá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins frá árinu 1962 settar inn í töflur. Er þar að finna niðurstöður bæði efnaprófsins ASTM C 289 og strendingaprófsins ASTM C 227 auk upplýsinga um sement, þessólaniðblöndun og mat á virkni hvers steypuefnis. Þá er einnig í skýrslunni skýrt frá áhrifum þess að blanda saman virkum og óvirkum steypuefnum í steypu. Niðurstöðurnar benda til þess að alkalíþensla minnki í réttu hlutfalli við íblöndun óvirkra efna við virk.

Sérstök áhersla á áhrif salts á alkalíþenslur í skýrslunni á rætur að rekja til umræðu á þessum árum um alkalísölt sem bærust með votum sjódældum steypuefnum í steypuna. Í umræðunni var sett fram hugmynd að líklegu magni alkalísalta í m³ af steypu miðað við eftirfarandi forsendur: 285 kg af sementi, sjávarsandur með 10% raka (sjór) og sjávarmöl með 3-3,5% raka:

Frá sementinu: 4,1 kg. Na₂O jafngildi
Frá sandinum: 2,0 kg. Na₂O jafngildi
Frá mölinni: 0,6 kg. Na₂O jafngildi

Á það var bent að steypuefnið gæti borið 35-40% af alkalímagninu í steypuna og því væri þvottur sjódældra steypuefna nauðsynlegur. Þjóðverjar telja að ef alkalímagnið fari yfir 3 kg af Na₂O- jafngildi í rúmmetra af steypu sé hætta á alkalískemmdum.

Ránnsóknir á áhrifum salts, þessólana og mismunandi hitastigs á alkalívirgni staðfesti áður fram komnar ránnsóknarniðurstöður stofnunarinnar.

4.4 Viðhald alkalískemmdra húsa:

Jafnframt því að ránnsóknir beindust að því að koma í veg fyrir alkalískemmdir var einnig leitað leiða til að hefta þær skemmdir sem þegar voru komnar fram. Beindist athygli manna aðallega að aðgerðum til að koma í veg fyrir að vatn drægist inn í steypuna. Þurr steypa í íbúðarhúsnæði var einmitt orsök þess að ekki var talin hætta á alkalískemmdum þar. Við skoðun húsa á þessum árum kom annað í ljós og var orsökinn talin of vatnsdræg steypa (hátt vatnssementshlutfall) og slagveðursregn. Ránnsóknirnar beindust að því að mæla rakahlutfall í steypunni og ákvarða hversu mikið rakahlutfallið þyrfti að lækka til að skemmdaþróunin stöðvaðist. Auk þess var leitað aðgerða til að hefta innsog vatns í steypuna. Var helst litið til tveggja lausna. Önnur var að verja steypa veggi með klæðningu, annaðhvort múrklæðningu eða úr öðrum efnum, helst þannig að loftstreymi væri milli hennar og steypunnar. Hin leiðin var að yfirborðsmeðhöndla steypuna með málningu eða öðrum vatnsfælandi efnum.

Ránnsóknir hófust á báðum þessum möguleikum árið 1981. Fenginn var aðgangur að alkalískemmdum húsum og þau annaðhvort klædd eða borið á þau vatnsverjandi efni. Ránnsóknir voru gerðar á því hversu mikið rakamagn í steypu má vera til að alkalískemmdir fari af stað og reyndust mörkin liggja kringum 80% hlutfallsraka. (17) Einnig kom í ljós að loftræstar klæðningar lækka rakamagnið umtalsvert og niður fyrir hættumörk á stuttum tíma (nokkrum mánuðum). Til ákvörðunar á rakainnihaldi steypunnar voru notaðar þrjár mæliaðferðir: 1) Steypukjarnar voru þurrboraðir og vatnsinnihald þeirra ákvarðað sem þyngdarmismunur fyrir og eftir þurrkun, 2) mæld var rafleiðni steypunnar með tveim aðferðum (Protimeter, Concretemaster og RH meter, Vaisala). (31)

Yfirborðsmeðhöndlun með málningu gaf engar jákvæðar niðurstöður en meðhöndlun steypuyfirborðsins með efnum sem hvarfast við efnasambönd steypunnar gaf á hinn bóginn verulega góða raun. Þessi efni eru upplausnir af mónósílan, síloxan og sílíkon í lífrænum leysiefnum (t.d. alkóhóli) og er talið að árangur efnanna stafi af hæfileika þeirra, sérstaklega mónósílan, til að smjúga inn í yfirborð steypunnar um hárpípur og hársprungur og hvarfast við efni í póruvökva steypunnar. (31)

Út frá niðurstöðum þessara ránnsóknna gaf Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins út ráðleggingar og leiðbeiningar um meðhöndlun og viðhald alkalískemmdra húsa.

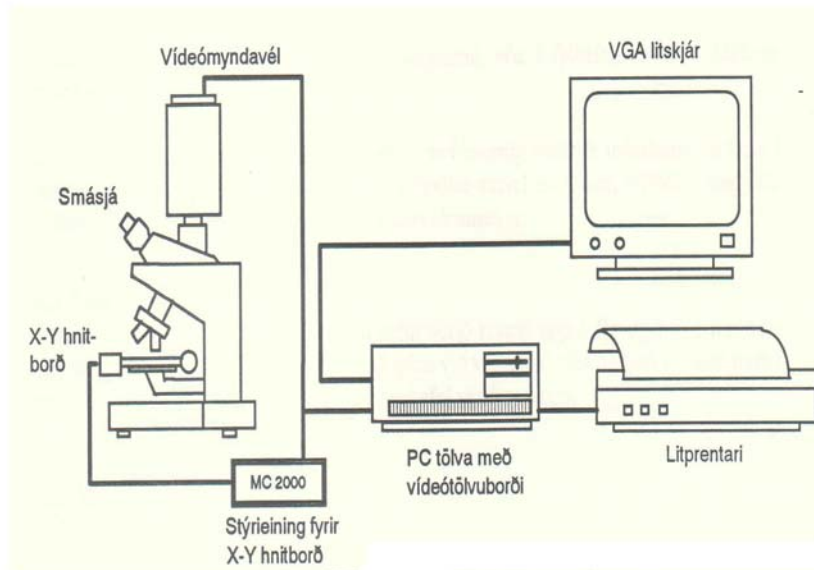
5. Alkalírannsóknir á Íslandi og aðgerðir gegn alkalískemmdum 1985-2005

Á árunum eftir 1980 þegar ljóst var að með íblöndun possólanefna í íslenska sementið og með því að komið var í veg fyrir að sjávarsalt bærist í steypuna hafði fundist nokkuð örugg lausn á að fram kæmu alkalískemmdir í steypum mannvirkjum. Rannsóknaverkefni Steinsteypunefndar gagnvart alkalívandanum beindust nú í meira mæli að aðgerðum til að verja þegar alkalískemmd hús frekari skemmdum. Áfram var þó haldið rannsóknum á possólanáhrifum og öðrum þáttum sem haft gætu áhrif á hættu á alkalívirgkni. Einnig var fram haldið eftirliti með steypuskemmdum sérstaklega á Reykjavíkursvæðinu, m.a. til að fá fullvissu um að alkalískemmdir væru úr sögunni. Allar þessar rannsóknir gátu borgarverkfræðingur og byggingarfulltrúi Reykjavíkurborgar nýtt sér í starfi og hagað framkvæmdareglum um steinsteypu í borginni eftir niðurstöðum þeirra. Á þessum árum var eftirlit með steypugerð í Reykjavík hert til muna eins og síðar verður getið í kafla um Steinsteypunefnd.

5.1 Rannsóknir á mannvirkjum:

Árið 1985 ákvað Steinsteypunefnd að halda áfram ástandskönnun á steypum húsum í Reykjavík og 1986 voru skoðuð 30 hús fullgerð 1980-1985 og 10 hús frá 1986 og boraðir úr þeim steypukjarnar. (32) Talsverðar steypuskemmdir (í um 19-32% húsa fyrir hvert ár) fundust og í fjórum húsum reyndust alkalískemmdir. Við nánari athugun kom í ljós að steypan sem um var að ræða var steyppt fyrir 1979 þó að húsin væru skráð fullbúin síðar.

Árið 1989 ákvað Steinsteypunefnd aftur að gera viðamikla könnun á ástandi steyptra húsa á Reykjavíkursvæðinu. Ný rannsóknatækni byggð á þunnsneiðagerð og smásjártækni var tekin í notkun hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 1991. Gaf þessi tækni nýja möguleika á að kanna betur eðli alkalívirkninnar.

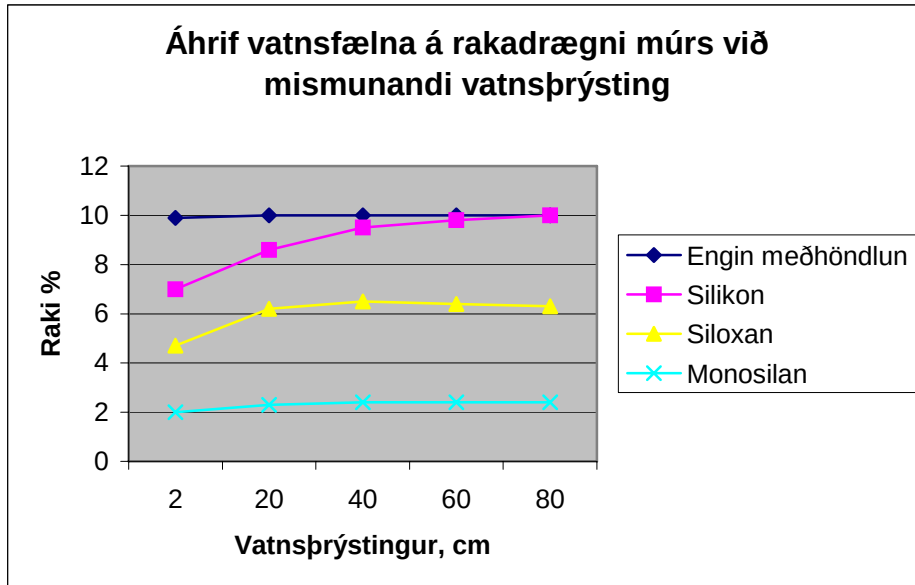


Mynd 15: Myndgreiningarbúnaður Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins. (36)

Í heild voru skoðuð 375 hús byggð 1977-1989, um 30 hús fyrir hvert ár. Í húsum byggðum 1977, 1978 og 1979 fundust alkalískemmdir en ekki í neinu húsi byggðu eftir júlí 1979. Niðurstöður rannsóknarinnar voru kynntar í rannsóknaskýrslu Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins 1991. (33) Þessum rannsóknum var svo fram haldið 1993 eins og fram kemur í kaflanum um rannsóknir á innri gerð steinsteypu. (36)

5.2 Vatnsfælur:

Áfram var haldið að fylgjast með og mæla útpurrkun steyptra veggja með loftræstum klæðningum og yfirborðsefnum á árunum eftir 1983. Sílan og síloxanefnin sýndu sem fyrr mjög jákvæðar niðurstöður um lækun rakastigs í alkalískemmdum húsum. (33) Frekari rannsóknir beindust svo að því að athuga hversu vel þessi efni gætu vatnsvarið steypu. Þær sýndu ótvírætt að áburður efnanna á steypa fleti hindraði vatnsísog steypunnar jafnvel undir talsverðum vatnsþrýstingi. Mónósílan reyndist besta vörnin, síðan síloxan en silíkonefnin reyndust síst.



Mynd 16: Áhrif vatnsfælna á rakadrægri mýrs við mismunandi vatnsþrýsting. (34)

5.3 Rannsóknir á samspili alkalívirgkni og frostáhrifa:

Í Steinsteypunefnd voru oft miklar umræður um orsakir þess að alkalískemmdir komu fram hér á landi þó að flestar rannsóknir bentu til hins gagnstæða. Má þar t.d. nefna niðurstöður á áhrifum hitastigs á alkalíþenslu. (2) Ríkharður Kristjánsson lét sig þetta mál miklu varða og árið 1985 viðraði hann sérstakar hugmyndir um tilkomu alkalískemmdanna sem fólu það í sér að byrjandi alkalívirgkni gæti umbreytt steypuefnakornum og skapað rakadrægt hlaup um einstök korn. Þessir staðir yrðu síðan fyrir frostáhrifum vegna mikillar rakamettunar. Þessar hugmyndir þóttu mjög áhugaverðar og líklegar til að varpa betra ljósi á ósamræmi milli rannsóknaniðurstæða og raunveruleikans. Steinsteypunefnd samþykkti verkefni þar sem leitað var samspils alkalívirgkni og frostáhrifa og hófst það 1986.

Verkefnið varð viðamiklað. Unnið var mest með strendinga gerða úr steinsteypu (10x10x37 cm) með ísteypum mælitöppum. Prófsteypur voru gerðar með þrem sementstegundum, öllum íslenskum: óblönduðu Portlandsementi, venjulegu Portlandsementi með 7% kísilrykiþlöndun og Blöndusementi. Steypuefnin voru: Hvalfjarðarefni og Björgunarefni Hvalfjarðarefnið var steypuefnið sem notað var þegar alkalískemmdirnar komu fram en Björgunarefnið var tekið á öðrum slóðum síðar þegar ljóst var að Hvalfjarðarefnið gat valdið alkalískemmdum. Strendingarnir voru fyrst geymdir í alkalíkeri (38°C) mismunandi lengi en síðan meðhöndlaðir í frost-þíðu tæki í samræmi við bandaríska staðalinn ASTM C 666. Eftir 1, 3, 6, 12 og 24 mánaða geymslu í alkalíkerinu voru strendingarnir lengdarmældir og skoðaðir og alkalívirgkni í þeim metin. Eftir staðlaða tímalengd í frost-þíðutæki voru strendingarnir mældir með hátíðnihljóðbylgjum og yfirborðsflögnun þeirra metin skv. ASTM C 666. Helstu niðurstöður rannsóknarinnar gagnvart samspili alkalívirgkni og frostþols sem lokið var 1988 (35) var að með aukinni alkalívirgkni minnkar frostþolið: Þær bergtegundir sem mest molnuðu í frostþolsprófuninni voru setbergs- og molabergskorn úr mjög ummynduðu basalti. Mesta virgkni í formi alkalíhlaups voru

líparít- og andesítkorn en magn þeirra var 5% í Hvalfjarðarefni en 2% í Björgunarefni.

Auk þessara prófana voru gerðar steyptar einingar úr sams konar steypum og þær reistar við byggingu Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins og verður fylgst áfram með því hvort skemmdir myndast í þeim.

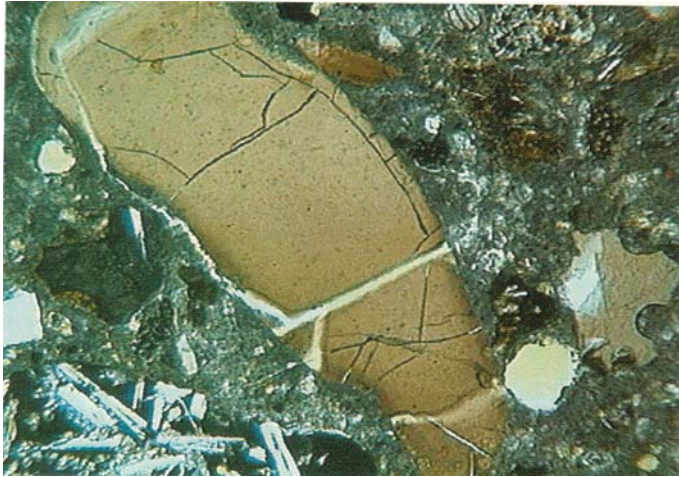
Rannsóknnum á samverkandi áhrifum frosts og alkalívirgni á steypu var fram haldið. Aðallega var þar beitt smásjárrannsóknnum eftir að Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins fékk fullkominn búnað til þess. Með þessum rannsóknum fékkst aukinn skilningur á þróun alkalívirgni við íslenskar aðstæður. Þessar rannsóknaniðurstöður staðfestu að alkalískemmdir á Íslandi voru afleiðingar samverkunar milli frostáhrifa og alkalívirgni. Hvort ferlið var frumorsök skemmda var ekki hægt að sannreyna. Niðurstaða rannsókna var sú að í alkalískemmdum húsum frá sjöunda og áttunda áratugnum þar sem steypa var ekki frostþolin vógu frostskemdirnar þyngra en alkalískemmdirnar og hefðu þau skemmst af völdum frosts hvort eð var. (43)

5.4 Innri gerð steinsteypu:

Hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins var uppbyggingu smásjárrannsóknna sem hófust 1978 fram haldið. Á árunum 1980-1990 var fenginn fullkominn tækjabúnaður, m.a. bergfræðismásjá, til rannsókna á steinsteypu til stofnunarinnar og sérfræðingar hennar öðluðust þjálfun og færni í notkun búnaðarins. Með gerð þunnsneiða úr steypuborkjörnum var nú mögulegt að skoða ýmsa mikilvægustu eiginleika steinsteypunnar í mannvirkjunum, t.d. ákvarða loftinnihald, alkalíhlaup, vatns- sementshlutfall og staðsetningu, dreifingu og ástand einstakra efnispátta. Mikilvægt fyrir alkalíranssóknirnar var þar könnun á magni og staðsetningu alkalíhlaups og dreifing kísilryks og stærð kísilrykskekkja. Við uppbyggingu þessarar tækni var haft náið samstarf við dönsku tæknistofnunina Dansk Teknologisk Institut. Á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins unnu Þorgeir S. Helgason og Auður Andrésdóttir aðallega að uppbyggingu tækninnar fyrstu árin en síðar Edda Lilja Sveinsdóttir og dr. Gísli Guðmundsson. Lögðu þessir sérfræðingar grundvöll að sértæku íslensku matskerfi á steinsteypu.

Árið 1991 var hleypt af stokkunum viðamiklu verkefni á grundvelli þessarar forvinnu sem nefnt var „Innri gerð íslenskrar steinsteypu, ástandskönnun“ og fjármagnað af Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og Steinsteypunefnd og styrkt af Rannsóknasjóði Rannsóknaráðs ríkisins. Verkefninu lauk 1994. (36)

Gerðar voru smásjárrannsóknir á borkjörnum úr rúmlega 100 húsum sem byggð voru á árunum 1976-1990. Aðalmarkmið rannsóknarinnar var „að kanna hvort kröfur sem gerðar eru til steinsteypu í byggingarreglugerð skili sér.“



Mynd 17: Sprungið fylliefni í steypu (100 föld stækkun). (36)

Margt áhugavert kom fram í niðurstöðum rannsóknarinnar um gæði steypunnar á þessum tíma. Kom m.a. í ljós að loftmagn var í lægra lagi og vatns-sementshlutfall í herra lagi á tímabilinu en jafnframt sýndu niðurstöðurnar batnandi gæði steypunnar með árunum. Alkalíhlaup fannst aðeins í húsum byggðum 1977 og 1978 en ekki eftir það. Studdi þetta fyrri kannanir um að ekki hefði fundist hættulegt alkalíhlaup í steypu eftir að kísilryksíblöndunin hófst 1979. Kekkjamyndun kísilryks sem valdið hafði áhyggjum í öðrum rannsóknum virtist ekki vera áberandi þegar steypan var komin í mannvirki sennilega vegna öflugs hræribúnaðar við steypugerðina.

5.5 Nýjar prófunaraðferðir:

Áður kom fram að bandaríska múrstrendingaprófunin ASTM C 227 var ætíð mest notuð til að meta alkalíþenslu hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. Með árunum skapaðist mikil reynsla og öryggi við notkun hennar, sérstaklega þar sem alltaf var notað sama sement (óblandað íslenskt Portlandsement með Na_2O jafngildi = 1,5%) og sama steypuefni (Hvalfjarðarefni frá Eyri í Kjós) sem viðmiðun við prófanirnar. Með árunum fékkst einnig nokkur reynsla við notkun hraðprófunarinnar ASTM C 289 og hver tengsl hennar við múrstrendingaprófunina var fyrir íslensk steypuefni. Eftir 1990 fóru að heyrast óánægjuraddir erlendis frá vegna prófunaraðferðarinnar ASTM C 227. Það sem helst var að henni fundið var að hún er byggð á múrstrendingum þannig að mala verður niður steypuefnið í smærri kornastærðir (sand) sem ekki samsvara raunveruleikanum í steinsteypunni. Einnig þótti aðferðin taka of langan tíma, helst þarf að fá eins árs niðurstöður til að öryggis sé gætt. Í fyrstu hélt stofnunin sig áfram eingöngu við að nota ASTM C 227 þar sem mikil reynsla bjó að baki fyrir íslensku steypuefnin.

Erlendis var það einkum hraðvirk múrstrendingaaðferð sem ruddi sér til rúms í stað ASTM C 227 og m.t.t. stórframkvæmda sem fyrirjáanlega yrðu hér á landi í sambandi við stóriðju og orkuver var talið skynsamlegt að taka þessa nýju aðferð inn í rannsóknakerfi stofnunarinnar. Aðferðin var stöðluð hjá bandarísku staðlastofnuninni

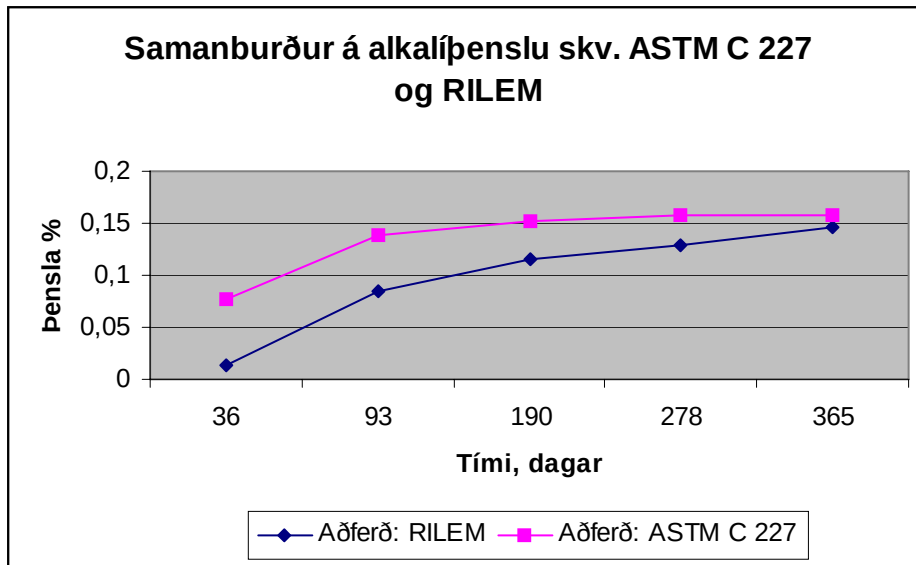
og fékk skráninguna ASTM C 1260. Ekki leið á löngu þar til reyndi á þessa nýju aðferð í mannvirki á Íslandi. Þetta var í fóðringu Hvalfjarðarganga á svæði þar sem heitt vatn seytleði inn í göngin.

Aðferð ASTM C 1260 byggist á gerð mýrstrendinga úr viðkomandi steypuefni og sementi líkt og í ASTM C 227 – prófuninni. Hún er upprunnin í Suður-Afríku (37) og gjarnan nefnd suðurafríska prófið. Mýrstrendingarnir eru látnir harðna í mótunum í rakamettun við 25°C í einn sólarhring. Síðan er þeim komið fyrir í vatni og þeir geymdir við 80°C í einn sólarhring í viðbót. Þá er upphafslengd þeirra mæld. Eftir það eru þeir geymdir við 80°C í 1N NaOH- upplausn í 14 daga. Sé þensla strendinganna minni en 0,1% eftir 14 daga er steypuefnið talið óvirkt en virkt ef þenslan er meiri en 0,2%. Sé þenslan þar á milli þarf að geyma strendingana 28 daga og rannsaka þá í smásjá. Niðurstöður úr prófunaraðferð ASTM C 1260 hafa með rannsóknum verið bornar saman við niðurstöður ASTM C 227 og er almennt gott samræmi milli þeirra. (38) Prófunaraðferðin ASTM C 1260 er hraðprófun þar sem strendingarnir eru geymdir í lút við hátt hitastig. Líkist hún þannig nokkuð efna-hraðprófuninni ASTM C 289 sem áður er lýst. Á sama hátt mælir hún eingöngu eiginleika steypuefnisins og gefur ekki möguleika á mati á sementseiginleikum eins og ASTM C 227 gerir. Áhugavert er þó að í þessum rannsóknum með ASTM C 1260 reyndist Blöndusementið íslenska hafa veruleg áhrif til þensluminnkunar.

Annar fyrrgreindur ókostur aðferðar ASTM C 227 er niðurmölun steypuefnisins. Aðferð sem byggist á steypustrendingum með þeirri kornastærðadreifingu sem nota á í viðkomandi mannvirki hefur verið nefnd RILEM - aðferðin (Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, Systèmes des Constructions et Ouvrages), þ.e. eftir alþjóðasambandi óháðra sérfræðinga og vísindamanna í byggingariðnaði. Hún er lík aðferð ASTM C 227 nema strendingarnir eru stærri, 7,5x7,5x25 cm og stærstu steypuefnakornin 2 cm. Steypustrendingarnir eru geymdir við 38°C og mældir eftir 1, 3, 6, 9 og 12 mánuði. RILEM - aðferðin var prófuð hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og niðurstöður hennar bornar saman við niðurstöður ASTM - mýrstrendingaprófanna. Reyndist vera nokkuð gott samræmi þar á milli einkum við hærri geymslualdur. (38, 39)

Ótal prófunaraðferðir af ýmsu tagi hafa verið þróaðar og notaðar staðbundið í ýmsum löndum. RILEM hefur um árabil beitt sér fyrir samanburðarrannsóknum á einstökum prófunaraðferðum í því skyni að unnt yrði að sameinast um notkun þeirra og setja í samevrópska staðla. Þessi vinna hefur gengið afar hægt og hafa ýmsar nefndir unnið að þessu í áratugi án þess að stöðluð RILEM prófun sé komin fram. Undanfarin ár hefur verið gerð samanburðarprófun á mýrstrendinga- og steypustrendinga prófunum. Fjölmargar þjóðir hafa tekið þátt, m.a. Íslendingar. Í tengslum við þessar samanburðarprófanir var að frumkvæði dr. Børge Vigum, verkfræðings hjá Hönnun ehf. Ráðist í íslenska rannsókn þar sem prófaðuð voru mismunandi fylliefnis og sementstegundir með fjórum strensingaaðferðum, tvær múr- og tvær með steypustrendingum. Í rannsókninni tóku þátt auk Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins, rannsóknastofur Hönnunar ehf. og Línuhönnunar ehf.

Meðal þess sem fram kom er að aðferðir þar sem strendingar eru geymdir í allkalíupplausnum henta ekki til prófunar á lágalkalí- og kísilryksblönduðu sementi. Lokaskýrsla var gefin út í mars 2007 undir heitinu Alkali Aggregate Reaction in Iceland – New Test Methods. (77)



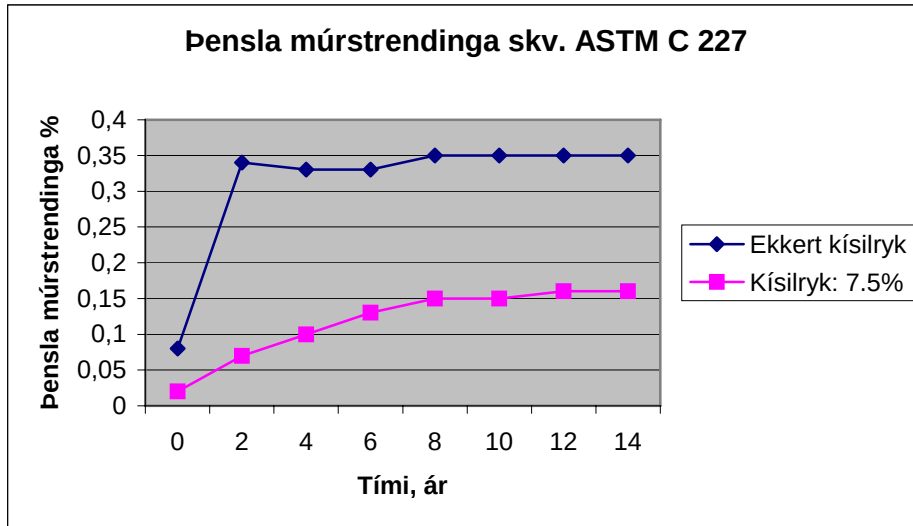
Mynd 18: Samanburður á þenslu mýrstrendinga skv. ASTM C 227 og steypustrendinga skv. aðferð RILEM. Steypuefni: Hvalfjarðarefni, sement : óblandað íslenskt Portlandsement. (40)

5.6 Langtímaáhrif kísilryks á alkalíþenslu og dreifing þess í steypu:

Eftir 1990 var þegar liðið á annan áratug frá því að byrjað var að blanda kísilryki í sementið frá Sementsverksmiðju ríkisins. Hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins var mýrstrendingaprófunum skv. ASTM C 227 fram haldið allan þann tíma þannig að árið 1996 þegar dr.Gísli Guðmundsson og Hákon Ólafsson sendu rannsóknagrein á 10. alþjóðaráðstefnu um alkalívirgna í Melbourne, Ástralíu lágu 11 ára mælingar fyrir um alkalíþenslu (39) og í grein eftir þá í tímaritinu Cement and Concrete Research lágu fyrir 14 ára mælingar með og án 7,5% íblöndunar á kísilryki. (40) Niðurstöður mælinganna sýna að án kísilryks eykst þenslan mjög hratt fyrstu tvö árin en stöðvast þá. Með 7,5% kísilryksíblöndun stöðvast þenslan eftir 10-12 ár en er þá aðeins helmingur af þenslunni án kísilryks eftir 2 ár.

Eins og áður hefur komið fram hefur alkalíhlaup ekki fundist í steiptum húsum byggðum eftir 1979 þegar íblöndun kísilryksins í sementið hófst þannig að áframhaldandi þensla mýrstrendinga með kísilryksíblöndun, eins og hún birtist í langtímaprófun Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins, virðist ekki hafa skilað sér sem skemmdir í húsum á Reykjavíkursvæðinu.

Þegar fullkominn búnaður til smásjárránnsóknna var tekinn í notkun hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins kom í ljós að dreifing kísilryksins í sementi og steypu var ekki eins góð og vonast var til. Þó að við framleiðslu sementsins væri reynt að ná sem bestri dreifingu virtist nokkur hluti kísilryksins hafa runnið saman í kekki sem voru miklu stærri en skilja hefði mátt af mælingum á fínleika ryksins. (40) Þetta kom heim og saman við athuganir sem gerðar höfðu verið á kísilryki í steypu erlendis. Þar hafði í nokkrum tilfellum verið hægt að kalla fram alkalíþenslu í kísilrykskekkjum.



Mynd 19: Langtímapensla alkalístrendinga skv. ASTM C 227. (40)

Með sértækum aðferðum (hátíðnihljóðbylgjum) reyndu vísindamenn að dreifa sem mest úr kekkjum kísilryksins en það reyndist erfitt. Var niðurstaða þessara vísindamanna að kornastærð kísilryksins væri í reynd meiri en ráð hafði verið fyrir gert. Töldu þeir að í stað kornþvermáls sem í flestum heimildum var álitid 0,1-0,2 μm væri það í reynd 1-50 μm . (41) Í íslensku rannsóknunum var einnig hægt að kalla fram alkalípenslu á rannsóknastofu. Veruleg kekkjamyndun kom fram í sementinu sjálfu og múrblöndum gerðum úr því en nær engin í steypusýnum. Var talið að öflug hrærsla steypunnar í stöð og steypubílum orsakaði niðurbrot kekkjanna. Miklar rannsóknir á þessari kekkjamyndun fóru fram hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins milli 1990 og 2000 þar sem reynt var að kanna hættuna á alkalípenslu í steypunni en reynsla undangenginna tveggja áratuga dró úr áhyggjum manna. Ljóst var þó að kekkjunin dró úr virkni og virku magni kísilryksins og því full ástæða til að finna lausn á vandamálinu.

5.7 Hugleiðingar og mat á rannsóknaniðurstöðum

Rannsóknirnar fyrstu árin eftir 1967 og niðurstöður þeirra voru notaðar sem vegvísir til að mæta þeirri hættu sem stafað gæti af alkalívirgna í steypu hérlandis. Reynsla þeirra ára sem síðan eru liðin staðfestir að rétt ákvörðun var tekin þegar ákveðið var að leggja höfuðáherslu á notkun öflugra possólanefna ásamt því að forðast aðgengi salts í steypuna með því á sjóðældum steypuefnum. Mikla þýðingu hafði tilkoma járnblendiverksmiðju í Hvalfirði en rykið frá slíkum verksmiðjum er eitt öflugasta possólanefni sem þekkist. Það auðveldaði mjög framleiðslu á sementi með nægum possólanstyrk til að standast alkalívirgna en jafnframt öðrum eiginleikum hágæða Portlandsements.

Mesta áfallið í sögu alkalíránnsóknna á Íslandi var uppgötvun alkalískemmda í íbúðarhúsi árið 1975. Það var í fullkominni mótsögn við þær hugmyndir og væntingar sem rannsóknaniðurstöður fram til þess tíma höfðu gefið til kynna. Miklar umræður

og vangaveltur urðu um þessi mál í Steinsteypunefnd árin eftir að skemmdirnar komu í ljós eins og betur verður greint frá í kaflanum um nefndina.

Það voru helst tvö atriði sem vöfðust fyrir mönnum. Annað þeirra var sú almenna skoðun að raki í húsasteypu næði ekki því magni sem til þyrfti til að alkalíhlaup þendist nægjanlega út til að sprengja sundur þokkalega sterka steypu. Ránnsóknirnar sýndu að til þessa þyrfti hlutfallsraki að komast yfir 80% í steypunni. Ránnsóknir á skemmdum húsum sýndu að svo mikill raki náði að verða til í steypunni og þá var spurningin hvers vegna náði þetta mikill raki að safnast fyrir í steypunni. Ýmsar kenningar voru uppi. Veðurfarsránnsóknirnar bentu til meiri vatnsþrýstings á steypuna en víðast var þekkt erlendis. Í varnaðarorðum Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins var þessari staðreynd fyrst haldið fram. Reyndar kom fljótt fram að veggjasteypa skv. kröfum byggingarreglugerðar stóðst þann vatnsþrýsting án þess að vatn kæmist nokkuð inn í steypuna. En annað kom einnig í ljós við ránnsóknir Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins. Það var að húsasteypa í Reykjavík var ekki eins góð og reiknað hafði verið með. Helst var það vatns-sementshlutfallið sem var of hátt, oftast yfir 0,6 sem jók hættu á hárpípuverkun og jafnframt myndun á örsprungum (þurrkrýrnun). Hárpípuverkun og örsprungur valda vatnsísogi sem eykst enn frekar við áhrif slagregns sem algengt er á Reykjavíkursvæðinu eins og fram kom í veðurfarsránnsóknunum.

Hitt atriðið sem ekki vildi samræmast fram komnum skemmdum voru niðurstöður ránnsóknanna þar sem alkalísýni voru geymd við mismunandi hitastig og hversu mjög alkalíþenslurnar minnkuðu frá 38°C niður í 10°C þar sem þær nær því stöðvuðust. Hitaránnsóknirnar voru síðar endurteknar hjá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins og fengust sömu niðurstöður.

Helsta skýringin á þessu ósamræmi var að alkalískemmdir kæmu aðallega fram á áveðurshliðum húsa sem jafnframt væru suðurhliðar og fengu þar af leiðandi á sig mest sólarljós. Ekki var talið ólíklegt að sólin hitaði steypuna oft upp í kjörhita (38°C). Byrjandi alkalíþensla myndaði örsprungur þannig að vatn ætti betri leið inn í steypuna og frostáhrif tækju svo við og sprengdu steypuna. Önnur tilgáta þar sem frostáhrifum og frostnæmi steypuefnanna íslensku var gefið aðalvægi var einnig nefnd. Sú kenning virtist fá stuðning við áframhaldandi ránnsóknir á samvirgna áhrifa frosts og alkalívirgna á steypu, þar sem frostskemdir virtust vega mun þyngra í alkalískemmdum húsum frá sjöunda og áttunda áratugnum en alkalívirgna. (43)

Mikilvægar voru þær ránnsóknir sem beindust að saltmagninu í steypunni. Öpvegið sjóblautt steypiefni sem jafnframt var alkalívirkt hafði verið notað í steypuna eftirlitslaust áður en alkalískemmdirnar uppgötvuðust. Tímabundið bann við notkun virkra steypuefna á Reykjavíkursvæðinu sem og skylda til að þvo allt steypuefni úr sjó, ásamt aukinni íblöndun virkra þóssólanefna í íslenska sementið, hafði afgerandi áhrif á að svo fljótt og vel tókst að stöðva alkalískemmdir á svæðinu. Sú víðtæka og kerfisbundna skoðun og þær ránnsóknir á steypu íbúðarhúsnæði á svæði þar sem mikil einsleitni er í notkun sements og steypuefna er sennilega einstæð í heiminum. Á þetta benti Gunnar M. Idorn í grein um Steinsteypudag Steinsteypufélags Íslands 1992 sem hann sótti. Hans skoðun var að „ Það sé enginn vafi á að landið (Ísland) hefur skilað betri arði af framlagi til opinberra steypuránnsóknanna en önnur ríki geta státað sig af. “(42)

5.8 Íslenskar alkalíránnsóknir á alþjóðavettvangi (6)

Í bók sinni Concrete Progress. From Antiquity to the third Millenium (6) rekur dr. Gunnar Idorn sögu alkalíránnsóknna í heiminum frá upphafi til ársins 2000. Ræðir hann aðallega um tvö tímabil, það fyrri frá 1940 til 1960 og hið síðara frá 1960 til aldamóta. Á seinna tímabilinu kemur Ísland talsvert við sögu aðallega í sambandi við þær reglulegu alkalíráðstefnur sem haldnar voru á þessu tímabili. Stóðu Íslendingar, sérstaklega á tímabilinu 1970 til 1990, framarlega í rannsóknum á gagnvirkum aðgerðum gegn hættunni á alkalískemmdum í steinsteypu. Voru þær aðallega notkun possólanefna, bæði náttúrulegra og tilbúinna (kísilryk), svo og notkun á vatnsfælum (sílanefni) gegn áframhaldandi skemmdum í alkalíþaninni steypu. Þetta kemur skýrt fram í Manual of Concrete Practice (ACI 234R – 96, s. 2) frá American Concrete Institute (ACI). Í skýrslu nefndar ACI nr. 234 um notkun kísilryks í steinsteypu er vísað til frumrannsókna Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins 1979. (16) Þá taldi dr. Gunnar Idorn að skipulegar rannsóknir Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins á alkalískemmdum í mannvirkjum (27, 28) sem hófust 1977 og haldið var áfram næsta áratuginn (43) hefðu verið einstakar á alþjóðavísu og hefðu átt að vera kynntar betur á alþjóðavettvangi.

Í bók Gunnars Idorn kemur fram að hann kallaði til fundar sumarið 1974, í Köge í Danmörku, nokkra af fremstu vísindamönnum á sviði alkalíránnsóknna. Komu 22 gestir frá fimm löndum þar sem alkalískemmdir höfðu komið fram. Frá Íslandi mætti dr. Guðmundur Guðmundsson fyrir Steinsteypunefnd og hélt fyrirlestur um rannsóknir Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins á árunum 1967 til 1974. Að sögn Gunnars var þessi tveggja daga fundur tilraun til þess að sameina þá titölulega fáu sem stunduðu alkalíránnsóknir á þessum tíma. Að honum loknum voru fundarmenn sammála um gagnsemi og þýðingu þess að sameinast í baráttunni við þennan skaðvald steinsteypunnar. Barst þá boð frá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins um að halda næsta fund í Reykjavík sumarið 1975. Fundurinn var haldinn í ágúst 1975. (8) Mættu þar 26 vísindamenn og 22 fyrirlestrar voru haldnir. Margir af fremstu sérfræðingum heims á sviði alkalíránnsóknna voru meðal þeirra. Voru þeir frá Bandaríkjunum, Kanada, Danmörku, Englandi og Þýskalandi. Tilhögun fundarins var í ráðstefnuformi með fundum og fyrirlestrum og lauk honum með kynningar- og skoðunarferð um Suðurland. Voru virkjanir og önnur mannvirki þar skoðuð. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og Sementsverksmiðja ríkisins kostuðu ráðstefnuna en styrkir fengust frá Landsvirkjun og The European Research Office í London. Þessi ráðstefna varð svo undanfari reglulegra alþjóðaráðstefna um alkalíránnsóknir, International Conference on Alkali Aggregate Reaction (ICAAR). Fundurinn í Köge var þó skilgreindur sem fyrsta alþjóðaráðstefnan en fundurinn í Reykjavík nr. 2. Síðasta eða 12. alþjóðaráðstefnan var haldin í Peking árið 2004 og sú 13. verður í Þrándheimi í Noregi 2008.

Framlag Íslands á ráðstefnunni í Reykjavík 1975 voru tvö erindi, annað flutti Kristján Sæmundsson jarðfræðingur um íslensk jarðefni með possólaneiginleika, hitt var flutt af dr. Guðmundi Guðmundssyni um rannsóknir á áhrifum íslenskra possólanefna á alkalíþenslur.

Þriðja alþjóðaráðstefnan var haldin í Wexham Springs nærri London árið 1976. Þátttakendur voru 38. Íslendingar skýrðu þar frá uppgötvun alkalískemmda í íbúðarhúsum á Íslandi og fulltrúar nokkurra annarra ríkja þar sem alkalískemmdir höfðu ekki komið fram áður lýstu þeim í erindum sínum. 4. alþjóðaráðstefnan var haldin í Purdue University í Indiana, Bandaríkjunum árið 1978 og 5. ráðstefnan í Cape Town í Suður- Afríku árið 1981. Mikil fjölgun þátttakenda var á þessum ráðstefnum, t.d. voru 155 fulltrúar í Cape Town. Enginn Íslendingur sótti þessar tvær ráðstefnur en Gunnar Idorn kynnti ránnsóknir Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins á áhrifum kísilryks gegn alkalíþenslum í steinsteypu á ráðstefnunni í Cape Town.

Haraldur Ásgeirsson og dr. Guðmundur Guðmundsson kynntu ránnsóknir Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins á áhrifum kísilryks, sem blandað var í 5-7,5% magni í íslenska sementið, á alkalíþenslu á 6. alþjóðaráðstefnunni í Kaupmannahöfn 1983. Þar hélt Hákon Ólafsson einnig fyrirlestur um ránnsóknir stofnunarinnar á vatnsfælum til að stöðva þegar byrjaðar alkalíþenslur í íbúðarhúsum á Reykjavíkursvæðinu. Á 7. alþjóðaráðstefnunni í Ottawa í Kanada árið 1986 var því endanlega slegið fast að alkalískemmdir væru alþjóðavandamál. Hákon Ólafsson tók þátt í henni og hélt fyrirlestur um áhrif raka og hitastigs á alkalíþenslur. Hákon Ólafsson hélt inngangserindi í boði undirbúningsnefndar á 8. alþjóðaráðstefnunni í Kyoto í Japan 1989.

Hákon Ólafsson mætti frá Íslandi á 9. ráðstefnuna í London 1992 og sendi, ásamt dr. Gísla Guðmundssyni yfirlitsgrein um ránnsóknir Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins á 10. alþjóðaráðstefnuna í Melbourne í Ástralíu árið 1996 en Gísli sótti þá ráðstefnu. Hvorki voru erindi frá Íslandi á 11. alþjóðaráðstefnunni í Quebec árið 2000 né 12. ráðstefnunni í Peking 2004. 13. alþjóðaráðstefnan verður haldin í Þrándheimi 2008 og þá verða Íslendingar aftur með þar sem dr. Börge Jóhannes Wigum er í undirbúningsnefnd ráðstefnunnar.

6. Steinsteypunefnd (26)

Þó að steypuskemmdir af völdum alkalíþenslu hefðu óheppileg áhrif á ímynd steinsteypu hÉrlendis, eins og fyrr er getið, þá leiddu þær eitt gott af sér en það var tilkoma Steinsteypunefndar.

Fyrstu mælingar Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins á alkalívirgkni íslenskra steypuefna frá árinu 1962 svo og vitneskjan um hátt alkalímagn í íslenska sementinu urðu til þess að Haraldur Ásgeirsson, forstjóri stofnunarinnar, lagði hart að byggingaryfirvöldum að skoða alvarlega þá hættu sem leynst gæti í íslenskri steypugerð vegna alkalívirgkni. Benti hann á þessa hættu m.a. í útvarpserindi 1966 og vakti það þá þegar mikla athygli. Þann 26. janúar 1967 skipaði iðnaðarráðherra sérstaka nefnd til að fjalla um hugsanleg vandamál varðandi þessa hættu eða eins og stóð í erindisbréfi fyrir nefndina: „gera tillögur um með hvaða ráðum unnt sé að koma í veg fyrir þenslu og þar af leiðandi grotnun í steinsteypu hÉrlendis“.

Í nefndina voru skipaðir:

Haraldur Ásgeirsson, forstjóri Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins, formaður
Aðalsteinn Júlíusson, Vita- og hafnamálastjóri
Árni Snævarr, verkfræðingur hjá Almenna byggingafélaginu
Grímur Bjarnason, formaður Meistarasambands byggingarmanna
Gústaf Pálsson Borgarverkfræðingur
dr. Jón Vestdal, forstjóri Sementsverksmiðju ríkisins
Sigurður Jóhannson Vegamálastjóri

Nefndin hóf þegar störf og fyrsti fundur hennar var haldinn 23. febrúar 1967. Á þeim fundi kom fram mismunandi sýn nefndarmanna á raunveruleg áhættu á alkalívirgkni í steypu á Íslandi, sérstaklega hvað varðaði mat á niðurstöðum úr ránnsóknastofumælingum. Nefndarmenn voru samt sammála um nauðsyn þess að kanna málið með ránnsóknnum. Strax á þessum fyrsta fundi var sú skoðun almenn að beina ætti ránnsóknnum að notkun þessólanefna til að vinna gegn áhrifum alkalívirgkninnar. Til þess að tryggja að vel væri að verki staðið kom fram tillaga um að leita ráðgjafar dr. Gunnars Idorn frá ránnsóknastofnun dönsku sementsverksmiðjanna, Aalborg Portland Cement, í Karlstrup en hann hafði unnið að því að leysa alkalívandamálið í Danmörku árin áður. Tillagan var samþykkt og var Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins falið að hefja undirbúning og leggja fram áætlun um framkvæmd alkalíránnsóknna.

Eftir fyrsta fundinn hóf nefndin störf af fullum krafti og voru átta bókaðir fundir haldnir árið 1967. Dr. Gunnar Idorn kom til landsins í lok ágúst og kynnti sér aðstæður, t.d. skoðaði hann mannvirki. Ekki fann hann neins staðar merki um alkalískemmdir. Hann mælti þó eindregið með því að taka hættuna alvarlega og hefja ránnsóknir. Rökin fyrir því taldi hann hátt alkalímagn sementsins sem þá hafði verið í notkun í níu ár og aukna notkun steypuefna á höfuðborgarsvæðinu sem mælst höfðu alkalívirgk. Gerði hann tillögu að ránnsóknáætlun sem hann lagði fyrir nefndina. Í henni var sérstök áhersla lögð á ránnsókn á áhrifum íslenskra þessólanefna á alkalíþenslu. Þá benti hann á að íslenskt veðurfar væri frábrugðið því sem væri á þeim stöðum sem alkalívirgkni hefði mest verið ránnsókuð. Veðurfar hér væri jafn kaldara en einnig blautara og veðurhæð væri meiri. Allar voru þessar tillögur í samræmi við þær hugmyndir sem Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins hafði þegar sett fram.

Rannsóknir á vegum nefndarinnar höfðu þegar hafist fyrir komu dr. Gunnars Idorn. Dr. Guðmundur Guðmundsson, deildarstjóri hjá Rannsóknastofnun byggingar-
iðnaðarins, stýrði þeim hjá stofnuninni fyrstu fimm árin.



Mynd 20: Dr. Gunnar Idorn og dr. Bryan Mather voru aðal ráðgjafar Steinsteypunefndar frá byrjun.

Þegar nefndin hafði stýrt rannsóknunum í fastan farveg með því að samþykkja rannsóknáætlun dr. Gunnars Idorn var farið að huga að máli sem reyndist nefndinni erfitt fyrstu árin. Þetta var fjármögnun verksins. Nefndarmenn voru sammála um að til að mæta kostnaðinum skyldi koma sérstök fjárveiting frá hinu opinbera. Á fundi 6. október 1967 mætti Brynjólfur Ingólfsson ráðuneytisstjóri á fund nefndarinnar og lofaði stuðningi ráðuneytisins við að koma kostnaðinum á fjárlög. Á þessum fundi vakti Haraldur Ásgeirsson athygli á því að nefndin hefði ekki fengið neina nafngift og stakk upp á að hún yrði nefnd Steinsteypunefnd. Var það samþykkt. Þetta nafn hefur nefndin borið síðan.

Allar tilraunir til að fá sérstaka fjárveitingu á fjárlög árið 1968 eða beina fjárveitingu frá Iðnaðarráðuneyti brugðust og snemma árs 1968 lagði iðnaðarráðherra nefndina niður. Fulltrúar þeirra aðila sem að nefndinni stóðu ákváðu þá að viðhalda nefndinni og halda verkinu áfram og deildu þeir kostnaði við rannsóknirnar milli sín. Voru þetta Vita- og hafnamálaskrifstofan, Borgarverkfræðingur, Vegagerð ríkisins og Sementsverksmiðja ríkisins. Síðar árið 1968 bættist Landsvirkjun í hópinn.

Á fyrstu 7-8 árum nefndarinnar urðu nokkrar mannabreytingar í henni. Dr. Jón Vestdal hvarf úr nefndinni 1968 en í stað hans kom Svavar Pálsson. Árni Snævarr hætti í nefndinni 1969 og í hans stað kom dr. Gunnar Sigurðsson og árið eftir Páll Flygenring fyrir Landsvirkjun. Steypustöðvarnar í Reykjavík höfðu óskað eftir fulltrúa í nefndina og kom Halldór Jónsson frá Steypustöðinni hf. í hana í byrjun árs 1971. Það ár andaðist Grímur Bjarnason. Árið 1973 tók Þórður Þorbjarnarson borgarverkfræðingur sæti í nefndinni fyrir Reykjavíkurborg. Þá tóku dr. Óttar P.

Halldórsson frá Rannsóknastofnun byggingaiðnaðarins, Jón Birgir Jónsson og Helgi Hallgrímsson frá Vegagerðinni, Stefán Hermannsson frá Reykjavíkurborg og Birgir Frímannsson frá nýstofnuðu Steinsteypufélagi Íslands virkan þátt í starfi nefndarinnar.

Á þessum fyrstu árum Steinsteypunefndar var margt að gerast í steypumálum Íslendinga sem kom inn á borð nefndarinnar. Má þar nefna nýja sements- og steypustaðla, stofnun Steinsteypufélags á Íslandi og miklar ádeilur og gagnrýni á gæði sementsins frá Sementsverksmiðju ríkisins. Var t.d. mikið rætt um hvort sementið stæðist kröfur nýs sementsstaðals. Árið 1973 lýsti Sementsverksmiðja ríkisins því yfir að hún stæðist kröfur hins nýja staðals.

Vegna hás alkalímagns var ekki leyft að nota íslenska sementið óblöndað í Búrfellsvirkjun og var það blandað dönsku lágalkalísementi í Sementsverksmiðjunni á Akranesi til að lækka alkalímagnið. Possólansement framleitt í Sementsverksmiðjunni með 23,5% ímölun af líparíti var þá rannsakað hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins undir eftirliti Steinsteypunefndar og Landsvirkjunar. Eftir rannsókn og umsögn sérfræðings frá U.S. Bureau of Reclamation, Edward M. Harboe að nafni, sem fenginn var til ráðgjafar, gaf Landsvirkjun árið 1974 grænt ljós á að nota það í Sigölduvirkjun en framkvæmdir við virkjunina voru þá að hefjast. Var sementið nefnt Sigöldusement

Í ágúst 1971 fóru dr. Guðmundur Guðmundsson og dr. Óttar P. Halldórsson á vegum Steinsteypunefndar á Norrænu steypuráðstefnuna í Åbo í Finnlandi. Þar var í fyrsta skipti lagt fram á erlendri ráðstefnu erindi um íslenskar rannsóknir á alkalívirgkni í steinsteypu eftir Guðmund Guðmundsson. Sennilega var þetta einnig í fyrsta skipti á erlendri steypuráðstefnu sem fram komu íslenskar rannsóknarniðurstöður á steinsteypu en auk alkalí-rannsóknanna voru þar erindi eftir Harald Ásgeirsson og dr. Óttar P. Halldórsson.

Árið 1971 kom út fyrsta yfirlitsskýrslan yfir rannsóknir Steinsteypunefndar eftir dr. Guðmund Guðmundsson. Niðurstöður rannsóknanna voru raktar í köflunum hér að framan. Þær voru ræddar á mörgum fundum nefndarinnar árin 1971 og 1972. Niðurstaða Steinsteypunefndar var að einbeita sér að lausn alkalíhættunnar með notkun possólanefna og gera það með íblöndun possólanefna í íslenska sementið þar sem það var notað í alla steypuframleiðslu í landinu. Innflutningur á sementi hafði verið bannaður til ársins 1971 en með inngöngu Íslands í EFTA var það bann upphafið í áföngum þannig að árið 1975 var innflutningur frjáls. Til þessara aðstæðna var litið við ákvörðun nefndarinnar. Væri íslenska sementið búið þeim eiginleikum að engin hætta væri á alkalívirgkni væri mikið öryggi tryggt í allri steypugerð hérlandis. Þó að erlent lágalkalísement væri flutt inn væri öryggi samt ekki tryggt, t.d. í mannvirkjum þar sem sjór eða annað saltvatn kæmi í snertingu við þau. Einnig var þekkt að lágalkalísement var á verulega hærra verði en venjulegt sement.

Dr. Guðmundur Guðmundsson tók við starfi tæknilegs framkvæmdastjóra Sementsverksmiðju ríkisins síðla árs 1971. Hann tók þá jafnframt sæti Svavars Pálssonar í Steinsteypunefnd. Hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins tók Hákon Ólafsson verkfræðingur við stjórn verkefna á vegum Steinsteypunefndar.

Árið 1972 var hafin tilraunastarfsemi í Sementsverksmiðju ríkisins við að blanda líparíti saman við allt sement við mölun. Var farið varlega af stað, fyrst aðeins

blandað 2% af líparíti. Orsök þessarar varkárni voru málaferli þar sem Sementsverksmiðjan var ásökuð um vörusvik sem byggðust á íblöndun óbrenndra efna (possólanefna) í sementið. Ekki þótti mikið gagn í svo lítilli íblöndun og var hún aukin í 5% árið 1973.

Þegar hér er komið sögu voru alkalíránnsóknir almennt stutt á veg komnar, langmest hafði alkalívandamálið verið ránnbakað í Bandaríkjunum og reynsla af stöðlum og reglum var þar þegar mikil. Í Evrópu voru ránnsóknirnar í Danmörku þekktastar og þar höfðu skemmdir komið fram. Með ýmsum aðgerðum taldi danska alkalínefndin að alkalívandamálið í Danmörku væri leyst. Gunnar Idorn lýsti ánægju sinni með hröð viðbrögð íslensku steinsteypunefndarinnar og hvatti hana sífelld til dáða. Taldi hann að Ísland gæti vel stillt sér við hlið annarra þjóða hvað ránnsóknir á alkalívirgkni snerti. Hann hvatti Steinsteypunefnd til að láta á sér bera á alþjóðavettvangi, það myndi beina athygli erlendra vísindamanna að íslenskri ránnsóknastarfsemi á steinsteypu. Lagði dr. Gunnar til að haldinn yrði fundur nokkurra þekktra sérfræðinga á sviði alkalíránnsókná á Íslanði haustið 1972. Af ýmsum ástæðum varð ekki af þessum fundi en Gunnar kom í heimsókn til Íslands í byrjun september 1972 og fundaði með Steinsteypunefnd. Voru honum kynntar niðurstöður ránnsókná og tillögur nefndarinnar til aðgerða. Gunnar taldi ákvörðun nefndarinnar um að leggja áherslu á notkun possólanefna sem aðgerð gegn hættunni á alkalívirgkni skynsamlega og mikið öryggi fólgið í því að blanda possólanefnum í allt íslenska sementið. Hann benti á að ekki mætti heldur sofna á verðinum, alkalískemmdir hefðu gert aftur vart við sig í Danmörku og vart hefði orðið við miklar skemmdir í Þýskalandi á svæði þar sem margir hefðu haldið því fram að alkalískemmdir væru ekki mögulegar.

Gunnar Idorn hafði á þessum árum mikinn áhuga á að sameina krafta þeirra sem stunduðu ránnsóknir á alkalívirgkni og vildi koma á alþjóðaráðstefnu um alkalívandamálið. Það var því miður að ekki skyldi takast að halda fyrirnefndan fund árið 1972 því að hann hefði hugsanlega komið inn í söguna sem fyrsta alþjóðaráðstefnan um alkalívirgkni. Í stað þess var haldinn fundur í Danmörku 1974 og varð hann skráður sem fyrsta alþjóðaráðstefnan um alkalívirgkni. Til merkis um það hversu takmarkað svið steypuránnsókná alkalíránnsóknirnar voru á þessum tíma voru þátttakendur 23 vísindamenn frá fjórum löndum. Eitt erindi var frá Íslanði sem Guðmundur Guðmundsson flutti.

En þetta var að breytast um þessar mundir. Í fleiri löndum fundust alkalískemmdir og vandamálið óx hratt. Fram til ársins 2000 voru haldnar 11 alþjóðaráðstefnur um alkalívirgkni og á 9. og 10. áratugnum voru 200-300 þátttakendur frá 20-30 þjóðum á þessum ráðstefnum.

Eftir fundinn í Danmörku var ákveðið að halda næstu ráðstefnu í Reykjavík. Í Steinsteypunefnd buðust Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins og Sementsverksmiðja ríkisins til að undirbúa og bera kostnað af ráðstefnunni. Einnig veitti stofnunin, European Research Office í London, fjárstyrk og Landsvirgkun sá um og kostaði kynningarferð eftir ráðstefnuna. Til ráðstefnunnar komu margir helstu vísindamenn á þessu sviði, 25 vísindamenn frá sjö löndum. Hún tókst með ágætum og var aðalmálefni hennar aðgerðir til að koma í veg fyrir alkalíþenslur og voru íslensku erindin helguð náttúrulegum possólönun og virgkni þeirra. Áhugavert er að allir þessir vísindamenn voru þeirrar skoðunar að íbúðarhúsnæði væri ekki í hættu og eftir

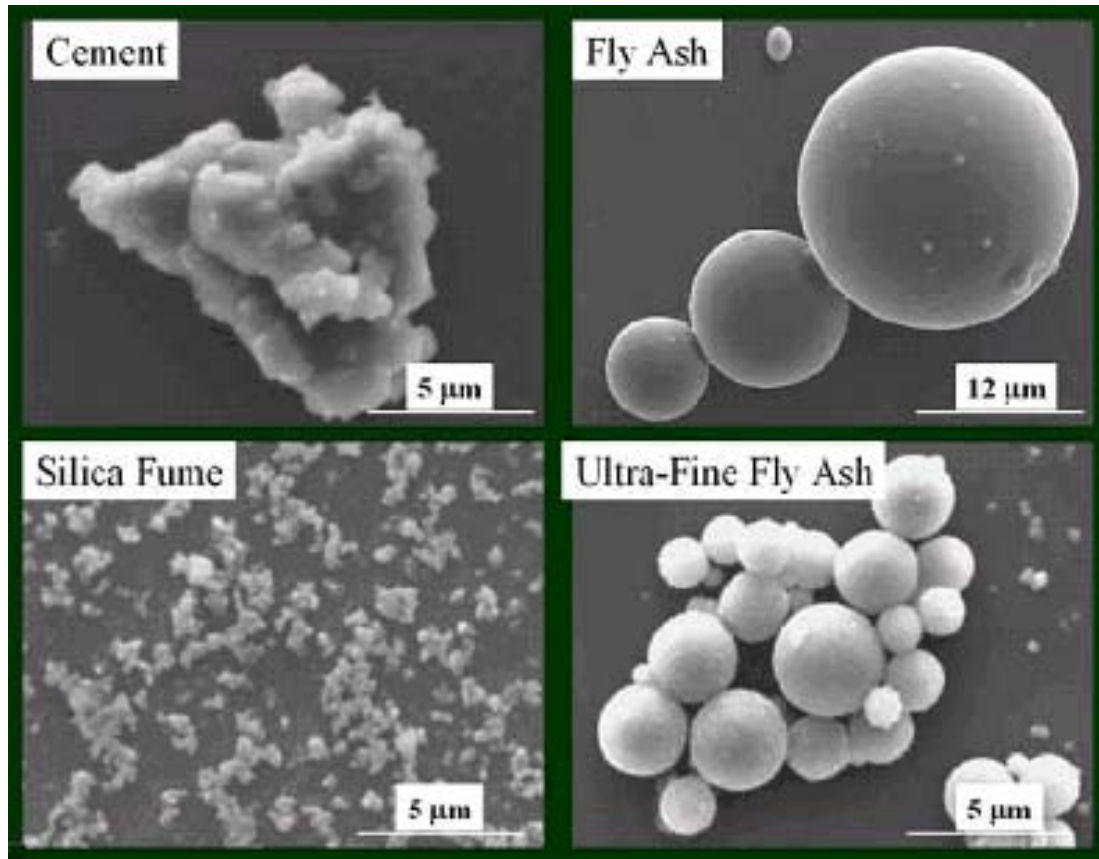
skoðun ýmissa mannvirkja, bæði húsa á höfuðborgarsvæðinu og brúarmannvirkja á Suðurlandsundirlendinu, var samdóma álit að engar alkalískemmdir væru sjáanlegar. Í Steinsteypunefnd þóttu þetta góðar fréttir og í samræmi við ránnsóknaniðurstöður nefndarinnar. Það var því kaldhæðnilegt að um ári síðar fengust fyrstu alkalískemmdirnar í Garðabæ staðfestar og kom sú vissa þessum sömu vísindamönnum mjög á óvart þegar hún var kynnt á 3. alþjóðaráðstefnuninni í London haustið 1976. Þar sem gengið hafði verið út frá því fram til þessa að alkalískemmdir kæmu ekki fram í íbúðarhúsnæði voru margir vantrúaðir á sannleiksgildi ránnsóknanna og efasemdaraddir heyrðust.

Uppgötvun alkalískemmdanna var mikið áfall fyrir Steinsteypunefnd. Viðbrögð hennar voru í fyrstu tvenns konar; annars vegar að auka frekar ránnsóknir á verndaráhrifum possólanefna og hins vegar að auka ástandskönnun húsa og annarra mannvirkja.

Um þessar mundir hóf nefndin að hlutast til um fleiri atriði en alkalívirgna varðandi gerð og gæði steinsteypu. Eins og fyrr getur hófst skipulegt eftirlit með gæðum íslenska sementsins fljótlega eftir skipun nefndarinnar og bar nefndin kostnað af eftirlitinu. Þetta var upphaf að miklu hlutverki sem nefndin átti eftir að taka að sér - að vera eftirlitsaðili og ráðgjafi byggingaryfirvalda í steypugæðamálum.

Á árinu 1977 urðu nokkrar mannbreytingar í Steinsteypunefnd. Í hana komu nýjir menn sem áttu eftir að starfa lengi og hafa mikil áhrif á störf hennar. Frá Vegagerð ríkisins kom Guðmundur Arason, frá Landsvirkjun Páll Ólafsson og Vífill Oddsson sem annar fulltrúi Sambands steypustöðva. Þá tók Hákon Ólafsson, sem leiddi ránnsóknastarfið hjá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, virkan þátt í störfum nefndarinnar allt frá 1972. Árið 1977 tók dr. Ríkhartur Kristjánsson við ránnsóknaverkefni til að kanna steypuskemmdir og annað ástand húsa. Hann hóf þá einnig virkan þátt í starfi nefndarinnar.

Eins og fyrr var greint frá hófust ránnsóknir á kísilryki strax árið 1972. Þær voru í fyrstu á vegum Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins og Sementsverksmiðju ríkisins og komu ekki mikið inn á borð Steinsteypunefndar fyrr enn nokkrum árum síðar. Ástæða þessa var tvenns konar. Í fyrsta lagi virtist notkun ryksins í gerð steinsteypu vera vandasöm vegna mikils kornafínleika þess og í öðru lagi kom fram að Union Carbide, fyrirtækið sem ætlaði að byggja kísiljárnverksmiðju á Grundartanga, hygðist nota framleiðsluaðferð sem leiddi af sér myndun kísilryks sem ekki var nothæft sem possólanefni. Þegar norska fyrirtækið Elkem tók við byggingu verksmiðjunnar breyttust aðstæður, norska kísilrykið hafði sýnt góða eiginleika í ránnsóknnum Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins og þar að auki hafði Elkem þróað tækni til að gera rykið grófara og þar með auðveldara í notkun. Árið 1976 var sett í gang viðamikil ránnsókn á vegum nefndarinnar til að ránnsaka possólaneiginleika kísilryks og líparíts í steinsteypu. Verkefnið var þó ekki kostað af nefndinni heldur Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins og Sementsverksmiðjunni. Steinsteypunefnd kostaði aftur á móti ástandskönnun mannvirkja sem hófst 1976. Niðurstaða sementseftirlits 1976 sýndi að íslenska sementið stóðst kröfur nýs sementsstaðals ÍST 9.



Mynd 21: Kísilrykskorn eru 100 sinnum minni en sementskorn. Þau fylla því holrými milli sementskorna og auka þannig gæði steypunnar.

Á fundum Steinsteypunefndar árið 1978 voru tvö mál helst til umræðu. Voru það niðurstöður rannsókna á þessólaneiginleikum kísilryks og steypuskemmdir á höfuðborgarsvæðinu. Kísilrykið sýndi í rannsóknunum afburða þessólaneiginleika og hófust framleiðslutilraunir á sementi blönduðu kísilryki í Sementsverksmiðju ríkisins sumarið 1978 með innfluttu ryki frá Noregi. Við ástandskönnun húsa kom í ljós að steypuskemmdir, sérstaklega á höfuðborgarsvæðinu, voru meiri en ætlað hafði verið. Voru orsakir taldar bæði alkalí- og frostskemdir. Þá kom fram að skemdir voru umtalsvert meiri á höfuðborgarsvæðinu en á Akureyri.

Haustið 1978 kom Niels Taulow frá Teknologisk Institut í Kaupmannahöfn til Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins á vegum Steinsteypunefndar og aðstoðaði sérfræðinga stofnunarinnar við að meta með smásjárrannsóknum hvort alkalíþenslur væru í borkjörnum sem boraðir voru úr skemdum húsum. Um svipað leyti kom Gunnar Idorn á vegum Sementsverksmiðju ríkisins til landsins. Ráðlagði hann um notkun þessólana í sement og sat fund með Steinsteypunefnd.

Á árinu 1978 urðu nokkrar umræður í fjölmiðlum um alkalívandamálið og gerði Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins þess vegna grein fyrir rannsóknum og störfum Steinsteypunefndar, m.a. í grein í Tímariti verkfræðinga. (15) Niðurstöður verkefnisins ástandskönnun steyptra húsa voru ræddar ýtarlega á fundi nefndarinnar í nóvember 1978 og víða komið við. Mikla umfjöllun fékk sú staðreynd að alkalísöltin

kæmu ekki eingöngu frá sementinu í steypuna heldur einnig frá sjóðældum steypuefnum. Var talið óhjákvæmilegt að allt steypuefni úr sjó yrði þvegið. Á sama fundi kom fram gagnrýni á meðhöndlun steypunnar við niðurlagningu á byggingarstað. Þórður Þorbjarnarson borgarverkfræðingur lagði til við Steinsteypunefnd að hún semdi tillögu að reglum um alkalívirgna sem setja mætti inn í byggingarreglugerð. Tillögurnar gerðu ráð fyrir ströngum kröfum um þenslu strendinga (ASTM C 227) , hámark 0,05% eftir 6 mánuði og 0,1% eftir 12 mánuði. Þvottur steypuefna var fyrirskipaður og mörk sett um magn alkalísalta eftir þvott. Byggingarnefnd Reykjavíkur samþykkti tillögu borgarverkfræðings í desember 1978 um leyfilegt saltmagn í steypuefnum. Steypuefni úr sjó skyldu þvegin þannig að saltinnihald þeirra yrði minna en 0,25% Na₂O- jafngildi í rúmmetra. Bannað var að nota Hvalfjarðarsand (Eyri í Kjós) eftir 1. júlí 1979 í útveggjasteypu og aðra steypu í snertingu við vatn. Þá var m.t.t. skemmda af öðrum orsökum, t.d. frostþenslu, lagt til að komið yrði á eftirliti með framleiðslu og niðurlagningu steypu á höfuðborgarsvæðinu og starfsmaður ráðinn til að sinna því. Tillögur um framkvæmd eftirlitsins komu frá byggingarfulltrúa Reykjavíkurborgar, Gunnari Sigurðssyni, sumarið 1979 og tóku byggingarfulltrúi og starfsmenn hans upp frá því virkan þátt í störfum Steinsteypunefndar. Ný byggingarreglugerð fyrir Reykjavík þar sem framangreindar tillögur voru teknar með var samþykkt árið 1979. Björgun hf. var boðið að tilnefna fulltrúa í Steinsteypunefnd í byrjun árs 1979 og kom Andrés Svanbjörnsson í nefndina. Björgun hóf þá undirbúning að uppsetningu þvottastöðvar.

Árið 1978 fór Steinsteypunefnd vandlega yfir þá möguleika sem þekktir voru til að lækka alkalímagnið í sementsgjallinu íslenska, m.a. með þvotti skeljasandsins. Sementsverksmiðja ríkisins hafði þegar reynt öll tiltæk ráð og sýndi fram á með útreikningum að þvottur skeljasandsins fyrir brennslu skilaði ekki árangri. Niðurstaðan varð því sem fyrr að treysta á possólaníblöndun og þar virtist kísilrykið besti kosturinn.

Á júlífundinum 1979 kom fram hjá fulltrúa Sementsverksmiðjunnar að verksmiðjan gæti boðið fjórar mismunandi gerðir sements: venjulegt Portlandsement með 5% íblöndun kísilryks til notkunar á Reykjavíkursvæðinu, venjulegt Portlandsement með 9% íblöndun líparíts til notkunar á landsbyggðinni, Portland-hraðsement með 7,5% íblöndun kísilryks og Portland-possólansement (Sigöldusement) með 23,5% íblöndun líparíts en það var þá notað við byggingu Hraneyjafossvirkjunar.

Björgun tók að dæla steypuefni við Saltvík á Kjalarnesi 1979 og var það minna alkalívirgt og því vænlegra til notkunar í steypu en Hvalfjarðarefnið. Umræðan um alkalí- og steypuskemmdir í fjölmiðlum hélt áfram 1979 og í júlí 1979 var hörð gagnrýni á störf Steinsteypunefndar í Þjóðviljanum. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins var falið að senda bréf til ritstjóra blaðsins og var greinargerð um rannsóknir og störf nefndarinnar send í önnur blöð.

Í byrjun árs 1980 er fulltrúa verkfræðideildar Háskóla Íslands boðin seta í Steinsteypunefnd og tók dr. Þorsteinn Helgason prófessor það sæti. Á árunum eftir 1980 tóku starfsmenn byggingarfulltrúa Reykjavíkurborgar, Gunnar Sigurðsson byggingarfulltrúi og Hallgrímur Sandholt, virkan þátt í störfum nefndarinnar og skiluðu á hverju ári skýrslu um eftirlit með framleiðslu steypu á höfuðborgarsvæðinu. Frá Vegagerðinni tók Pétur Ingólfsson verkfræðingur árin næst eftir 1980 virkan þátt í

störfum Steinsteypunefndar. Þá varð dr. Ríkharður Kristjánsson fulltrúi Steinsteypufélags Íslands í nefndinni eftir að hann stofnaði fyrirtækið Línuhönnun hf.

Mörg önnur verkefni en féllu beint undir alkalíránnsóknir lét Steinsteypunefnd sig varða á árunum um og eftir 1980. Má þar nefna ránnsóknir á þurrkrýrnun sem Gunnar Idorn hafði mikinn áhuga á og ræddi á fundi nefndarinnar 1980, auk þess verkefni svo sem áhrif kísilryks á þurrkrýrnun, rakamælingar og hreyfingar vatns í steypu, trefjasteypur, notkun þjálniefna o.fl.

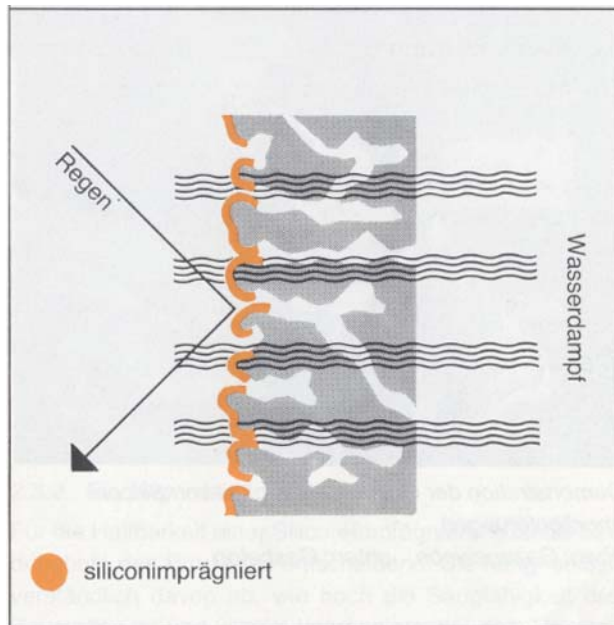
Árið 1980 er einu stærsta ránnsóknaverkefni nefndarinnar hleypt af stokkunum en það fólst í að finna bestu leiðir til viðgerða á alkalí- og frostskeimmdum í steypu. Voru undirnefndir skipaðar til að gera tillögur um og framkvæma tilraunir í þessa veru. Önnur undirnefndin sá um tæknilegar útfærslur, svo sem loftræstar klæðningar, en hin nefndin sá um efnafræðilegar lausnir, svo sem notkun vatnsfælna. Verkefnið var að sjálfsgöðu viðamikilið og kostnaðarsamt. Var reynt að fá obinbera fyrirgreiðslu og fékkst styrkur frá Húsnæðismálastjórn til að fjármagna upphaflega áætlun Steinsteypunefndar, annað kom frá aðilum nefndarinnar. Í stýrihóp fyrir viðgerðarverkefninu voru skipaðir frá Steinsteypunefnd Hákon Ólafsson og Vífill Oddson en Ríkharður Kristjánsson tók einnig virkan þátt í störfum hópsins. Af hálfu Húsnæðismálastjórnar var Gunnar Björnsson, formaður Meistarasambands byggingarmanna, skipaður í hópinn.

Á Alþingi lagði Birgir Ísleifur Gunnarsson fram þingsályktunartillögu um opinberan styrk til húseigenda vegna alkalískemmdanna. Tillagan fór fyrir alsherjarnefnd Alþingis í mars 1981 og fór nefndin í kynnisferð til Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins og skoðaði alkalískemmd hús. Nefndin lagði til með breytingartillögu að Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins yrði falið að kanna hvernig best yrði staðið að viðgerðum á alkalískemmdum húsum. Enn fremur lagði alsherjarnefndin til að nefnd yrði skipuð til þess að kanna með hverjum hætti best yrði komið fjárhagsaðstoð vegna skeimmdanna. Það nefndarstarf hófst aldrei.

Í framhaldi af ástandskönnun á húsum var ástand annarra mannvirkja aðallega brúa, hafna og virkjana kannað og síðar var ástandskönnun á húsum endurtekin. Niðurstöður úr því verkefni sýndu gott ástand á virkjunum og nýrri brúm en verkefninu var að mestu lokið 1981.

Krafan um þvott á Hvalfjarðarsandi óx stöðugt, sérstaklega hjá steypustöðvunum í Reykjavík sem fóru fram á að mega nota þvegin Hvalfjarðarsand að hluta (30% af heildarþunga steypuefna) í útveggjasteypu með annars óvirkum steypuefnum. Að beiðni byggingarfulltrúans í Reykjavík var Steinsteypunefnd beðin um álit og í framhaldi af því fékkst leyfið. Steypustöðvarnar fóru auk þess fram á að í byggingarreglugerð yrði lágmarkskrafa um steypugæði í útveggjasteypu, S 250, og kom málið til álita í Steinsteypunefnd. Tilraunir voru gerðar með þvott hjá Björgun árið 1982 og tók nú Sigurður Helgason, framkvæmdastjóri Björgunar, virkan þátt í starfi nefndarinnar ásamt Andrésí Svanbergssyni. Fullkomin þvottastöð var síðan komin í gagnið hjá Björgun sumarið 1984. Björgun hélt svo áfram að leita óvirkra steypuefna á hafsbotni en árið 1985 voru þegar komnar fram nýjar óskir um herra blöndunarhlutfall Björgunarsands í steypu á höfuðborgarsvæðinu.

Niðurstöður úr stóra viðgerðaverkefnum lágu fyrir 1983. Það sýndi að flestar loftræstar klæðningar komu að fullu gagni við stöðvun á alkalískemmdum. Þá sýndu ránnsóknirnar að vatnsfælur, svo sem sílan- eða síloxanefni, lofuðu góðu sem forvarnir og þar sem skemmdir voru að koma í ljós. Mælti Steinsteypunefnd með notkun sílanefna og einnig notkun málningategunda sem hleyptu vatnsgufu auðveldlega í gegnum sig (andandi málningu).



Mynd 22: Silanefni hindra rakadrægni steypunnar en loka ekki fyrir gufustreymi út úr steypum útveggjum.

Hjá Sementsverksmiðju ríkisins var unnið að því að bæta tæknina við íblöndun kísilryksins og var sett upp ný blöndunarstöð fyrir þurrt, þettað ryk árið 1982 sem jók magn og öryggi við ísetningu ryksins. Árið 1983 var magn kísilryksins í íslenska sementinu orðið 7,5% en Steinsteypunefnd ráðlagði að magnið færi ekki yfir 8% og hélt sig þar við norskari ránnsóknaniðurstöður. Sementsverksmiðjan fór síðan fram á að mega blanda í venjulegt sement, auk 7,5% kísilryks, 2,5% af líparíti og mælti Steinsteypunefnd með því. Þróun nýrrar sementstegundar, Blöndusement, sem notuð var í Blönduvirkjun var lokið 1984 með íblöndun 10% kísilryks og 25% líparíts. Þetta sýndi mikla möguleika á að breyta samsetningu íslenska sementsins með possólanefnum. Undirnefnd var stofnuð til að gera tillögur að breyttri samsetningu venjulegs Portlandsements. Hana leiddi Haraldur Ásgeirsson með Halldóri Jónssyni og Ríkharði Kristjánssyni. Hún mælti með hærri possólaníblöndun. Steypustöðvarnar settu sig á móti þessum hugmyndum og varð ekki af þeim.

Árið 1982 tók Hákon Ólafsson við stjórn Steinsteypunefndar en Haraldur Ásgeirsson hélt þó áfram virkri þátttöku í henni.

Byggingarfulltrúi réð starfsmann í eftirlit með framleiðslu steypu á höfuðborgarsvæðinu árið 1983 og skilaði hann skýrslu um eftirlitið það ár og síðan nákvæmari skýrslu fyrir árið 1984. Var skýrsla byggingarfulltrúa síðan fastur liður í starfsemi Steinsteypunefndar. Eftirlitið fólst aðallega í mælingum á sigmáli, loftmagni

og salti í steypuefnum. Sýndu niðurstöður eftirlitsins ýmsa ágalla en byggingafulltrúi taldi sig þó sjá mikil batamerki í steypuframleiðslunni eftir að eftirlitið hófst. Steinsteypunefnd þótti vel af stað farið en margir fulltrúar í nefndinni gagnrýndu að ekki fylgdi eftirlit á byggingarstað, svo sem með aðhlynningu og annarri meðferð steypunnar þar.

Í ársbyrjun 1986 voru nokkrar umræður í Steinsteypunefnd um greinargerð sem Ríkharður Kristjánsson lagði fram um alkalívandamálið. Í greinargerðinni gagnrýndi Ríkharður ýmsar ályktanir og kenningar sem nefndin hafði tileinkað sér. Benti hann á misræmi milli niðurstaðna rannsókna og hegðun alkalískemmda. Kom hann fram með hugmyndir að uppruna og þróun skemmdanna sem viku frá þeim hefðbundnu, t.d. að frostþensla í steypuefnum væri frumorsök alkalíþenslunnar. Ekki voru nefndarmenn sammála um þessar hugmyndir en ákveðið var að kanna þær nánar síðar. Hugmyndir sínar lagði Ríkharður seinna fram í tímaritsgrein. (76)

Um þetta leyti var sett af stað rannsóknaverkefni til að kanna veðrunarþol steypu og hvaða kröfur þyrfti að gera til hennar. Var verkefnið til komið að frumkvæði byggingarfulltrúa Reykjavíkurborgar sem vildi nota niðurstöðurnar í tillögu að nýrri byggingarreglugerð. Stýrihópur sá um verkefnið og voru í honum verkfræðingarnir Hákon Ólafsson, Ríkharður Kristjánsson og Vífill Oddsson. Tillaga byggingarfulltrúa til félagsmálaráðuneytis um kröfur til veðrunarþolinnar steypu kom fram árið 1986 og var hún byggð á tillögum þessa vinnuhóps. Hún var svo tekin inn í breytingu á byggingarreglugerð 1987. Í henni var m.a. gerð krafa um lágmarkssementsmagn í venjulegri útisteypu, 300 kg /m³, v/s tala < 0,55, og loftmagn a.m.k. 5%. Í útisteypu sem verður fyrir verulegum saltáhrifum var gerð krafa um lágmarkssementsmagn 350 kg /m³, v/s tala < 0,45 og loftmagn a.m.k. 5%.

Árið 1986 var haldin alþjóðaráðstefna um alkalívirgna í Ottawa í Kanada, sú sjöunda í röðinni. Hákon Ólafsson tók þátt í henni og hélt erindi um rannsóknaniðurstöður á vegum Steinsteypunefndar um áhrif raka og hitastigs á alkalíþenslur.

Í sambandi við síðustu könnun Steinsteypunefndar á ástandi húsa á höfuðborgarsvæðinu voru sendir borkjarnar til Teknologisk Institut í Kaupmannahöfn. Við það verkefni hafði Sveinbjörn Sveinbjörnsson verkfræðingur starfað og tók hann virkan þátt í starfi nefndarinnar á þessum árum. Snemma árs 1987 kom Niels Taulow frá Teknologisk Institut á fund Steinsteypunefndar og gerði grein fyrir rannsóknum sínum á borkjörnunum. Við það tækifæri lauk hann miklu lofsorði á störf Steinsteypunefndar og taldi að á Íslandi hefði alkalímálið verið leyst á betri hátt en í Danmörku. Árið 1987 átti svo Steinsteypunefnd 20 ára afmæli. Var ákveðið að halda afmælisfund og bjóða Gunnari Idorn til landsins til að halda upp á afmælið. Hátíðarfundur var haldinn hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 23. júní 1987 og sóttu hann 40-50 boðnir gestir. Á fundinum hélt Gunnar Idorn erindi svo og nokkrir af fulltrúum Steinsteypunefndar um ýmis efni úr störfum nefndarinnar þau 20 ár sem hún hafði starfað. Síðar þetta ár skrifaði Gunnar Idorn greinargerð sem hann nefndi „Concrete Durability in Iceland, Notes from Visit í June 1987“, sem hann sendi Steinsteypunefnd. Í greinargerðinni var dregið saman það sem fram kom í erindum á hátíðarfundinum, upplýsingarnar metnar og settar í alþjóðlegt samhengi.

Í byrjun árs 1987 var það mat Steinsteypunefndar að gæði íslenska sementsins væru komin í gott horf og ekki væri þörf á að nefndin stæði að opinberu eftirliti. Var mælst

til þess að Sementsverksmiðja ríkisins tæki alfarið við eftirlitinu og veitti jafnframt Steinsteypunefnd aðgang að niðurstöðum eftirlitsins og varð þessi breyting árið 1987.

Á fundum Steinsteypunefndar 1987 var talsvert rætt um steypugæði á höfuðborgarsvæðinu og áhrif nýrrar niðurlagningartækni með steypudælum sem talið var að rýrðu mjög loftmagn í steypunni. Kom í ljós að loftmagn þurfti helst að vera 8% til að standast 5% kröfuna fyrir veðrunarþolna steypu í byggingarreglugerð. Þá kom fram lokaskýrsla um niðurstöður á notkun vatnsfælna á steypu. Niðurstöðurnar sýndu að sílanefnin höfðu veruleg vatnsverjandi áhrif sérstaklega þar sem v/s tala var há.

Bergfræðiránnsóknir sem Niels Taulow hafði hjálpað við að setja í gang hófust nú fyrir alvöru með verkefni sem byggðist á flokkun bergs m.t.t. frostþols og alkalívirggni. Þorgeir Helgason jarðfræðingur stýrði þessum ránnsóknunum og gerðist í framhaldinu virkur þátttakandi í starfi Steinsteypunefndar. Undir stjórn Þorgeirs var hleypt af stokkunum árið 1988 viðamikilu verkefni sem nefnt var Steypuefni og innri gerð steinsteypu og hlaut það styrk frá Ránnsóknaráði. Þessi tvö verkefni voru mikilvæg viðbót við fyrri ránnsóknir á alkalívirggninni og juku skilning á eðli hennar.

Fleiri verkefni litu dagsins ljós 1988. Í framhaldi af hugrenningum Ríkharðs Kristjánssonar um eðli alkalíþenslu og steypuskemmdir af hennar völdum var verkefni sett í gang sem nefndist Samspil frostþols og alkalívirggni. Þetta verkefni var undir umsjón Hákonar Ólafssonar. Undir hans umsjón var líka samanburðaránnsókn á sementsbundnum viðgerðarefnum en slík efni voru þá mjög að ryðja sér til rúms, m.a. vegna alkalískemmdanna. Einnig voru komin á markaðinn íslensk steypuviðgerðarefni sem þróuð voru hjá Sérsteypunni, ránnsóknafyrirtæki Íslenska járnblendifélagsins og Sementsverksmiðju ríkisins sem stofnað var 1985. Þá voru í gangi verkefni er vörðuðu sprungur og lekahættu í steypu og áhrif rakadrægni á veðrunarþol en Karsten Iversen, tækniþræðingur hjá Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, hafði umsjón með þeim. Karsten og Bjarni R. Þórðarson, einnig tækniþræðingur hjá stofnuninni, tóku þátt í störfum Steinsteypunefndar á þessum árum gegnum verkefnastjórnun sína. Bjarni skrifaði þá oft fundargerðir nefndarinnar.

Seint á árinu 1988 kom ýtarlegt viðtal við Hannes Davíðsson arkitekt í Íslenska sjónvarpinu þar sem hann hélt því fram að steypa úr íslenska sementinu hefði sýnt meiri rakadrægni en steypa úr erlendu sementi. Málið var rætt í Steinsteypunefnd í desember 1988. Þetta reyndist á miskilningi byggt vegna ónákvæms mælibúnaðar og kom Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins réttum upplýsingum til fjölmiðla.

Árið 1989 fóru af stað tvö stór verkefni, annað þeirra nefndist Sölt í steypu og múr, sem Rögnvaldur Gíslason efnaverkfræðingur stýrði, en hitt var ránnsókn á gæðasteypum. Í gæðasteypuverkefnið var settur vinnuhópur: Ríkharður Kristjánsson, Þorsteinn Helgason, Hákon Ólafsson, Karsten Iversen og Pétur Ingólfsson. Nýr Evrópu-staðall fyrir sement var ræddur á fundi Steinsteypunefndar þetta ár og kom þar fram að Sementsverksmiðja ríkisins hygðist taka hann upp. Með þátttöku sinni í Cembureau (Samband evrópskra sementsframleiðenda) tókst Sementsverksmiðjunni að fá fram viðurkenningu á íblöndun kísilryks í sement en til þess hafði ekki verið tekið tillit í undirbúningi staðalsins. Kísilryksíblöndun var tekin upp í staðalinn og skilgreint var sérstakt kísilrykssement.

Í júní 1989 kom fram í bréfi Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins til Steinsteypunefndar að greiðsluaðilar í nefndinni væru sjö. Þeir væru: Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, Vegagerð ríkisins, Reykjavíkurborg (borgarverkfræðingur), Vita- og hafnamálastofnun, Landsvirkjun og Sementsverksmiðja ríkisins. Sjöundi aðilinn voru þrjú fyrirtæki: B.M. Vallá hf., Steypustöðin hf. og Björgun hf.

Mikil æsifrætt í útvarpi og dagblöðum var rædd á fundi Steinsteypunefndar í febrúar 1990. Um var að ræða mastersritgerð Jóns Guðmundssonar verkfræðings frá háskólanum í Lundi í Svíþjóð. Fjallaði hún um þreytuþol steypu með íslenskum steypuefnum. Notað var kísilryksblandað íslenskt sement og taldi Jón að fram hefðu komið alkalíþenslur í steypunni. Hákon Ólafsson fór samstundis til Svíþjóðar til að kanna málið og uppgötvaði strax að um mistúlkun niðurstaðna ránnsóknanna væri að ræða og þenslur í steypunni væru ekki vegna alkalívirgkni. Á fundinum lágu staðreyndir málsins fyrir og þakkaði nefndin Hákonni snögg viðbrögð.

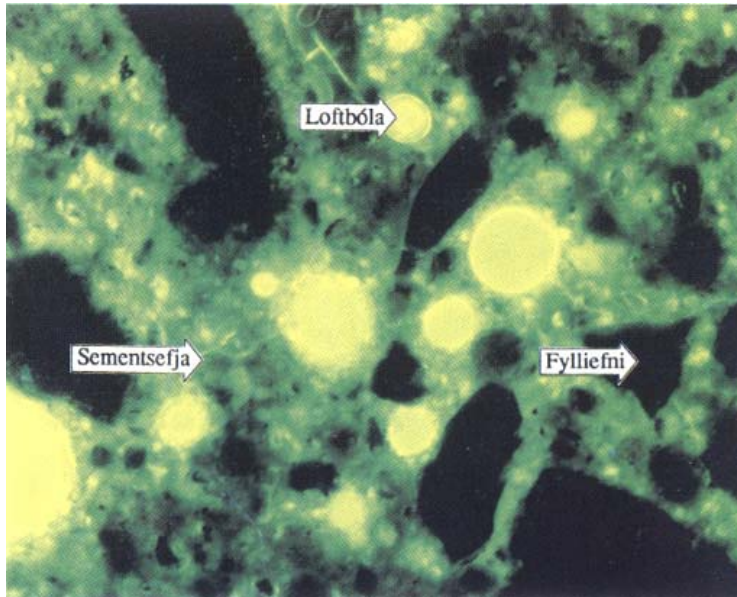
Árið 1990 lágu fyrir fyrstu drög að skýrslu eftir Hákon Ólafsson um sementsbundin viðgerðarefni og var hún rædd á fundum nefndarinnar það ár. Fram komu athugasemdir við skýrsluna frá Ríkharði Kristjánssyni sem einnig voru ræddar. Rb-blað byggt á þessum ránnsóknnum kom svo út sumarið 1991.

Á fundum nefndarinnar kom til umræðu verkefni sem kostað var af Ránnsóknasjóði, Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, Sérsteypunni og Jarðefnaiðnaði. Var þetta ránnsókn sem hafði að markmiði að gera vikurmúr vatnsfælinn með vatnsverjandi efnum. Aðaltilgangur verkefnisins var svo að þróa utanhússklæðningu úr þess konar múr.

Ástandskönnun húsa var lokið á þessu ári og gerði Bjarni R. Þórðarson grein fyrir niðurstöðum. Þær sýndu greinilega minni steypuskemmdir eftir að kísilryksíblöndun í sementið hófst og alkalískemmdir fundust engar eftir að íblöndunin hófst 1979.

Innri gerð steypu, stórt verkefni sem Þorgeir S. Helgason og jarðfræðingarnir Auður Andrésdóttir og Edda Lilja Sveinsdóttir störfuðu að, kom mikið inn í umræður nefndarinnar 1990 og hófst nú fyrir alvöru nýting á tækjakosti sem Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins hafði aflað til smásjárránnsóknna. Þá fór á þessu ári af stað ránnsókn á hágæðasteypum og kom dr. Ólafur Wallevik þá til starfa hjá stofnuninni við það verkefni.

Árið 1991 kynnti Edda Lilja Sveinsdóttir, ásamt öðrum starfsmanni stofnunarinnar, sér gerð þunnsneiða og smásjárránnsóknir á steinsteypu í Danmörku og í framhaldi af því var ráðist í samnorrænt verkefni í þunnsneiðagerð sem gaf góðar upplýsingar um hvernig þessi tækni nýttist í steypu með íslenskum steypuefnum miðað við steypuefni frá hinum Norðurlöndunum. Á árunum 1991-1993 fór fram mikil ránnsókn á steypukjörnum úr steypu úr íslenskum húsum.



Mynd 23: Þunn sneiðatækni er forsenda ránnsóka á innri gerð steinsteypu. Myndin er smásjármynd af þunn sneið úr steinsteypu, séð í flúrljómun. Gulu, kringlóttu flekkirnir eru loftbólur og grænleita, upplýsta svæðið er sementsefja. Hægt er að meta v/s hlutfallið eftir því hve sterk flúrljómunin er. Því vatnsríkari sem sementsefjan er því sterkari er flúrljómunin.

Steypueftirlit byggingarfulltrúa Reykjavíkurborgar var lagt fram á hverju ári eftir 1986 og samantekt þessa eftirlits sem kynnt var árið 1992 sagði að þrátt fyrir ýmis frávik í steypugæðum á þessu tímabili væri greinileg breyting til batnaðar. Steypustöðvarnar sem voru undir eftirliti voru B.M.Vallá hf., Steypustöðin hf. og Ós hf.

Gunnar Idorn var boðinn af Steinsteypufélagi Íslands til að halda erindi á Steinsteypudegi í febrúar 1992. Var í því tilefni í Steinsteypunefnd minnst 25 ára afmælis nefndarinnar. Í júlí á þessu ári var haldin 9. alþjóðaráðstefna um alkalívirgni í London. Hákon Ólafsson sat ráðstefnuna og gaf hann skýrslu um efni hennar í Steinsteypunefnd. Þá var haldin norræn steypuráðstefna í Reykjavík í ágúst 1992, Nordisk Betonkongress og Nordisk Betonindustrimöde, á vegum Steinsteypufélags Íslands en þar voru haldin erindi sem tengdust starfi Steinsteypunefndar, svo sem erindi um eiginleika íslenska sementsins, hástyrkleikasteypa, áhrif yfirborðsmeðhöndlunar steypu með vatnsfælum o.fl. Við langtímageymslu á alkalístrendingum kom í ljós að strendingar úr kísilrykssementi urðu fyrir miklu minni alkalíþenslu á fyrsta árinu en strendingar með íslensku sementi án íblöndunar og var hún vel innan við kröfur byggingarreglugerðar. Þensla með kísilryksblandaða sementinu hélt aftur á móti hægt áfram í fleiri ár en stöðvaðist að mestu eftir 1-2 ár með sementi án íblöndunar kísilryks. Steinsteypunefnd taldi að fylgjast bæri vel með því hvort þetta hefði áhrif í steypu í mannvirkjum. Var einnig lagt til að herða kröfur um hámarksþenslu eftir 12 mánuði. Höfðu þessar niðurstöður áhrif á kröfur í byggingarreglugerð síðar. Frá steypueftirliti Reykjavíkurborgar kom fram að steypuefni frá Björgun hafði staðist staðlakröfur um alkalíþenslu allt frá árinu 1984.

Nýr fulltrúi Vita- og hafnamálastofnunar, Sigurður Guðmundsson verkfræðingur kom í nefndina 1992, þá komu til starfa í nefndinni á þessu ári Einar Einarsson

verkfræðingur fyrir steypustöðvarnar í Reykjavík og Valur Guðmundsson verkfræðingur frá Malbikunarstöð Reykjavíkurborgar sem sat fundi nefndarinnar vegna verkefnis um hágæðasteypu í vega- og gatnagerð. Bjarni R. Þórðarson hætti störfum í Steinsteypunefnd 1992 en hann ritaði fundargerðir nefndarinnar nokkur ár. Hákon Ólafsson tók þá við ritun fundargerða og hefur sú tilhögun haldist síðan. Í byrjun 1993 tók Leó Jónsson framkvæmdastjóri Steinsteypufélags Íslands sæti í nefndinni.

Hákon Ólafsson kynnti á fyrsta fundi nefndarinnar 1993 niðurstöður í stóru verkefni sem að hluta var á vegum Steinsteypunefndar en það var „sprungur í steinsteypu, ránnsókn á vatnshegðun og viðgerðakerfum“. Verkefnið var styrkt af Ránnsóknasjóði. Í skýrslunni voru niðurstöður ástandskönnunar á steypuviðgerðum í Reykjavík, upplýsingar á hreyfingum sprungna sem fall af hitastigi, upplýsingar um áhrif vatnsfælna á vatnsstreymi í sprungum og þróun á prófunaraðferð til að mæla hreyfiþol viðgerðarefna. Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins og Línuhönnun gáfu svo í framhaldi þessarar ránnsóknar út handbók um viðhald steyptra húsa, árið 1994.

Ránnsóknir á hástyrkleikasteypum var mikið til umræðu á fundum Steinsteypunefndar 1993. Rætt var m.a. um notkunarmöguleika á henni og helst talið að hún hentaði í steypu þar sem burðar- og slitstyrks væri þörf, svo sem í vegi, brýr og hafnarmannvirki. Með þessu verkefni vann Ólafur Wallevik að þróun seigjumælis fyrir steypu sem sýndi sig hafa afgerandi áhrif á þróun hástyrkleikasteypu. Var gerð tilraun á vegum Vita- og hafnamálastofnunar með notkun hástyrkleikasteypu í hafnarþekju í Hafnarfjarðarhöfn árið 1993.

Aftur urðu nokkrar breytingar á Steinsteypunefnd árið 1994, Páll Ólafsson frá Landsvirkjun fór utan en fyrir hann kom Ingvar Björnsson verkfræðingur. Magnús Sædal, verkfræðingur og byggingarfulltrúi Reykjavíkurborgar, tók sæti í nefndinni og Þorgeir Þorbjörnsson frá gatnamálastjóra Reykjavíkurborgar tók sæti Vals Guðmundssonar. Þá hóf dr. Gísli Guðmundsson, jarðfræðingur og starfsmaður Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins, störf að verkefnum Steinsteypunefndar og var hann aðalstarfsmaður nefndarinnar þar til hann yfirgaf Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins 2004.

Á fyrsta fundi Steinsteypunefndar 1994 var rætt um verkefnaval og áætlanir nefndarinnar fyrir hvert starfsár. Kom þar fram að æskilegt væri að búið væri að ganga frá og samþykkja verkefnaskrá komandi árs í lok hvers árs. Á fundinum kom fram að kostnaður á hvern aðila að Steinsteypunefnd væri um kr 700.000 . Hefði þessi tala verið svipuð árin á undan.

Af verkefnum var mest fjallað um innri gerð steinsteypu og skyld verkefni. Komu fram viss vandamál við smásjárránnsóknirnar, svo sem ákvörðun á v/s tölu harðnaðrar steypu. Einnig olli kekkjun kísilryks í sementi og steypu vissum áhyggjum þó að þessir kekkir fyndust ekki í steiptum mannvirkjum. Þá voru í gangi tilraunir með nýjar mæliaðferðir á alkalíþenslu, svo sem steypustrendingaaðferð RILEM og nýja ASTM – aðferð, ASTM C 1260, en með henni fást niðurstöður þegar eftir 14 daga. Notkun hástyrkleikasteypu í vegaslitlög komu og við sögu og vegna skorts á upplýsingum um slitþol var gerð gangskör að því að senda sýni úr steiptum slitlögum til Noregs til prófunar í slitþolstæki þar (Vejsliteren).

Hleypt var af stað verkefni árið 1994 „sölt í steinsteypu“ til að kanna áhrif sjávarsalta á hús nærri sjó, og hversu mikið salt væri í steypu í húsum á höfuðborgarsvæðinu og hversu djúp saltídreypingin væri. Rögnvaldur Gíslason, efnaverkfræðingur hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, sá um þetta verkefni.

Stórt verkefni, „byggingarstaðurinn“, var kynnt á fundum Steinsteypunefndar 1995. Voru þar tekin fyrir ýmis atriði sem varða meðhöndlun steypu á byggingarstað. Helgi Hauksson verkfræðingur hélt aðallega utan um þetta verkefni. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins gaf út í framhaldinu fjórblöðung sem dreift var á byggingarstaði og fékk góðar undirtektir. Niðurstöður úr mælingum á slitþoli steypu í vegaslitlegum í Noregi komu í lok árs 1995 og voru kynntar af Ólafi Wallevik og Ásbirni Jóhannessyni, verkfræðingi Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins. Niðurstöðurnar voru í grundvallaratriðum í samræmi við norskar slitmælingar en sýndu þó að sliteiginleikar steypuefnanna hefur meiri áhrif á slitstyrk slitlaganna en áður var talið. Steinsteypunefnd minntist 100 ára afmælis steinsteypu á Íslandi þetta ár og voru skrifaðar greinar í fjölmiðla á vegum nefndarinnar til að minnast þessara tímamóta.

Á árinu 1995 kom Þorkell Jónsson tæknifræðingur og árið 1996 Þórður Búason, verkfræðingur frá byggingarfulltrúanum í Reykjavík, og Sigurður Áss Grétarsson, verkfræðingur frá Vita- og hafnamálastofnun, í nefndina. Á árinu 1996 var ráðist í að gefa út annað bindi af handbók um hönnun og viðhald steyptra húsa. Hákon Ólafsson og Björn Marteinnsson, verkfræðingur og arkitekt hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, ritstýrðu verkinu en Steinsteypunefnd var höfð með í ráðum. Unnið var að verkefninu, „byggingarstaðurinn“, og veggspjöld unnin um ryðskemmdir á bendistáli og múrlos. Sérstök rannsókn fór fram á viðloðun múrs við steypu og áhrif mótaolíu. Niðurstöður sýndu að mótaolía hefur lítil áhrif á viðloðun. Góð aðhlynni steypunnar virtist hafa mest áhrif. Gerð var samanburðarrannsókn á mismunandi aðferðum til að mæla alkalíþenslu og kom í ljós að góð samsvörun var milli þeirra. Voru þetta múrstrendingapróf, ASTM C 227 og ASTM C 1260, og steypustrendingaprófun RILEM. Þessar niðurstöður voru kynntar á 10. alþjóðaráðstefnunni í Ástralíu 1996.

Nýjar hugmyndir Sementsverksmiðjunnar hf. um þróun sementsframleiðslunnar voru til umræðu í Steinsteypunefnd. Fólust þær hugmyndir helst í að auka íblöndun óbrenndra efna og voru tilraunir með íblöndun skeljasands í sementið kynntar.

Ólafur Wallevik gerði grein fyrir nýrri kynslóð þjáltniefna sem höfðu afgerandi áhrif á framleiðslu hástyrkleikasteypu og sérstaklega nýja gerð steypu sem nefnd er sjálfútleggjandi steypa (ekki þarf að titra hana í mótin).



Mynd 24: SÚL steypa. Ný gerð þjálniefna gera jafnvel mjög þurra steypu flæðanlega þannig að ekki þarf að titra hana.

Þrjátíu ára afmæli Steinsteypunefndar var fagnað í nefndinni 1997 og ritaði Hákon Ólafsson grein í Morgunblaðið og hélt erindi á Steinsteypudegi 1998 um hlutverk og störf nefndarinnar. Páll Ólafsson sneri aftur frá störfum í Kína og tók sæti í nefndinni. Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins hélt, ásamt byggingarfulltrúanum í Reykjavík og múrara- og múrarameistarafélögunum í Reykjavík, námskeið hjá stofnuninni um vinnubrögð á byggingarstað og var árangurinn kynntur Steinsteypunefnd. Þar var þetta talið gott og þarft framtak.

Á haustfundi 1997 lýsti Hákon Ólafsson eftir álit fulltrúa í nefndinni á verkefnum næstu ára. Magnús Sædal nefndi áframhaldandi ránnsóknir varðandi byggingarstaðinn, vetrarsteypa/sumarsteypa, aðhlynningu á byggingarstað og umhverfismál. Þorsteinn Helgason nefndi ýmsa þætti varðandi nýjan steypustaðal sem upplýsingar vantaði um. Guðmundur Guðmundsson benti á notkun þjappaðrar þurrsteypu við stíflugerð og kynnti, ásamt Halldóri Jónssyni, kaup á nýrri útlagningsvél fyrir vegasteypu til landsins og þýðingu hennar. Sigurður Áss Grétarsson ræddi um ránnsóknir á steypu í sjávarumhverfi og vandamál því tengd. Tiltók hann nýlegar skemmdir á Borgarfjarðarbrú. Guðmundur Arason tók undir það og vildi að ránnsað væri atriði varðandi steypuþekju yfir járnþendingu. Páll Ólafsson lagði áherslu á meðferð steypu og aðhlynningu og hvernig Landsvirkjun stæði að málum.

Ritið „Hönnun steyptra húsa“ sem hafði verið í undirbúningi nokkur ár kom út 1998. Árið 1997 kom út bók Gunnars Idorn um þróun steinsteypu frá fornöld til þriðja árpúsundsins. (6) Skýrslur um nýja kynslóð þjálniefna (π -efni), eftir Ólaf Wallevik, og hörðnun kísilryksblandaðrar steypu voru ræddar á fundum nefndarinnar. Staðfest var að kísilblönduð steypa harðnar hlutfallslega hægar við lágt hitastig en venjuleg steypa. Þá var kynnt Rb -blað um vetrarsteypu.

Skýrsla byggingarfulltrúa Reykjavíkur fyrir 1997 sýndi góðar niðurstöður þó að vatnsísetning á byggingarstað mætti vera minni. Rætt var við það tilefni um að eftirlit á Reykjavíkursvæðinu væri strangara en í nágrannasveitarfélögunum. Tæringarránnsóknir á steypustyrktarjárn, undir umsjá dr. Gísla Guðmundssonar í samvinnu við fleiri Evrópuþjóðir (Cost-action 521), voru samþykktar

Síðla árs 1998 hófust mælingar á fjaðurstuðli íslenskar steypu en nýr Evrópustaðall fyrir steinsteypu (ENV 206) kallaði á nánari skoðun. Í ljós kom að fjaðurstuðull steypu með vissum íslenskum steypuefnum næði ekki að standast kröfur staðalsins. Varð um þetta mál mikil, almenn umræða á árinu 1999 sem Steinsteypunefnd tók þátt í. Var haldinn sérstakur fundur í Steinsteypunefnd, ásamt boðnum sérfræðingum á þessu sviði, árið 1999 sem nær eingöngu fjallaði um kröfur um fjaðurstuðul steypu við séríslenskar aðstæður. Þetta mál varðaði helst steypuefni í notkun Steinsteypunnar ehf. í Hafnarfirði og fékk Steinsteypan sæti í Steinsteypunefnd í framhaldinu og settist framkvæmdastjóri hennar, Aðalsteinn Steinþórsson, í nefndina.

Á árinu 1999 hófust rýrnunarmælingar á steypu hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og sá Guðni Jónsson verkfræðingur um þær. Einnig kynnti dr. Gísli Guðmundsson rannsóknir á steypu til notkunar við mikla ytri áraun sérstaklega steypu í sjó. Verkefnið var á vegum Vegagerðarinnar og tengdist steypuviðgerðum á Borgarfjarðarbrú og svipuðum skemmdum á fleiri brúm. Niðurstaða rannsóknarinnar sýndi að sement blandað járngjalli (blast furnice slag) og kísilryki gæfi besta raun en venjulegt Portlandsement gaf einnig góða raun.

Áhugaverðar niðurstöður komu úr rannsókn á áhrifum mismunandi aðhlynningar á byggingarstað sem Helgi Hauksson kynnti árið 2000. Fram komu með skýrum hætti neikvæð áhrif ófullnægjandi aðhlynningar á yfirborðsstyrk, sprungumyndun, klórleiðni og þrýstipól. Niðurstöðurnar voru dregnar upp á veggspjald sem Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins dreifði síðan.

Tæringarhætta bendingar í íslenskri steinsteypu var eitt af rannsóknaverkefnum sem skiluðu niðurstöðum árið 2000. Borkjarnar úr bílastæðishúsum, sundlaugum, höfnum og húsum nærri sjó voru rannsakaðir og klóríðinnihald þeirra ákvarðað með leiðnimælingum. Gísli Guðmundsson kynnti verkefnið og niðurstöður þess. Áframhaldandi rannsóknir á tæringarhættu í bendistáli með leiðnimælingum sýndu að tæring vegna klórmengunar í íslenskri steypu væri alvarlegt vandamál.

Guðni Jónsson kynnti rannsóknir á skriði í íslenskri steypu og mælitækni við rannsóknirnar og lagði þær fram sem erindi á steypuráðstefnu í Danmörku árið 2002. Niðurstöður úr mælingum hitastigs og raka í hefðbundnum steinvegg voru kynntar af Birni Marteinsyni og Rögnvaldi Gíslasyni.

Nýtilkominn innflutningur á dönsku sementi til landsins og hugsanlegar afleiðingar fyrir íslenska steypugerð voru rædd á síðasta fundi nefndarinnar árið 2000. Á þeim fundi lét Páll Ólafsson af störfum í nefndinni en Guðlaugur Þórarinnsson verkfræðingur tók sæti í henni sem fulltrúi Landsvirkjunar.

Hannes Sigurgeirsson kom inn í Steinsteypunefnd fyrir Steinsteypuna ehf. í byrjun árs 2001. Voru nokkrar umræður í Steinsteypunefnd um sementsgæði á markaðnum eftir að innflutningur hófst á dönsku sementi. Aðalbreytingin virtist sú að þróunin, sem fylgt hafði verið, að nota í auknum mæli blandað sement (possólansement) snerist við.

Áframhaldandi rannsókn á raka og rakamettun í útveggjum húsa staðfesti fyrri niðurstöður að hætta á frostskeimmdum væri lítil ef rakamettun væri undir 80% af

heildarholrými steypunnar. Mælingarnar sýndu þessa rakamettun á bilinu 54-72% og þótti það jákvæð niðurstaða.

Evrópustaðallinn EN 206 var á dagskrá og var skýrt frá því að hann hefði ekki enn öðlast gildi hér á landi. Indriði Níelsson, verkfræðingur hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrði frá 2. alþjóðaráðstefnu um sjálfútleggjandi steypu í Japan í október 2001 en hann hafði sótt hana ásamt nokkrum íslenskum verkfræðingum undir fararstjórn Ólafs Wallevik. Fram kom að næsta alþjóðaráðstefnan yrði á Íslandi árið 2003. Var mælt að þetta væri önnur alþjóðaráðstefnan um steypuránnsóknir sem haldin væri á Íslandi eftir alkalíráðstefnuna 1975.

Árið 2002 sótti innflytjandi danska sementsins, Aalborg Portland Cement Ísland, eftir sæti í Steinsteypunefnd en afstaða var ekki tekin vegna umsóknarinnar. Gísli Guðmundsson kynnti ránnsóknir á aðferðum til frostþolsmælinga en hin hefðbundna Borås-aðferð hafði verið gagnrýnd og þótt of kröfuhörð. Verkefnið var að endurbæta aðferðina og laga að hirlendum aðstæðum. Þetta verkefni var kynnt á norrænni steypuráðstefnu í Danmörku 2002. Þá kynnti Gísli nýjan tækjabúnað sem Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins hafði fengið til að kanna ástand mannvirkja án sýnatöku (non destructive testing).

Á síðasta fundi Steinsteypunefndar 2002 létu Guðmundur Arason og Guðmundur Guðmundsson af störfum í nefndinni og komu í þeirra stað Rögnvaldur Gíslason fyrir Sementsverksmiðjuna hf. og Rögnvaldur Gunnarsson fyrir Vegagerðina.

Alkalíránnsóknir á Íslandi hafa á síðustu árum færst að hluta til frá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og Steinsteypunefnd yfir til Verkfræðistofa. Aðstæður á steinsteypumarkaði nú eru orðnar flóknari en áður sérstaklega þar sem fleiri sementstegundir eru nú á markaði. Nú er ránnsóknunum mjög beint að nýjum og betri ránnsóknaaðferðum. Stórt evrópskt samvinnuverkefni er í gangi sem unnið er hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og verkfræðistofunum Hönnun hf. og Línuhönnun hf. Meginmarkmið þessa verkefnis er að leggja grunn að reglum eða þjóðarskjali við nýja Evrópustaðla um alkalívirgni. Verkfræðistofan Hönnun sér um verkefnisstjórnunina en RANNÍS, Íbúðalánasjóður, Steinsteypunefnd, Landsvirkjun, RARIK, Björgun, Steypustöðin, Loftorka og Aalborg Portland á Íslandi styrkja verkefnið. Dr. Borge Johannes Wigum hjá Hönnun er verkefnisstjóri.

7. Opinber umræða og fjölmiðlaumræða um alkalískemmdir á Íslandi

Eins og við mátti búast hófst umræða í Þjóðfélaginu um þá hættu sem steinsteypu á Íslandi stafaði af alkalívirikum steypuefnum og alkalíríku sementi og sýndist sitt hverjum. Umræðan hófst af alvöru árið 1966 þegar Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins upplýsti opinberlega um niðurstöður mælinga á alkalíþenslu múrstrendinga með íslenskum steypuefnum. Í fyrstu var hún aðallega hjá tæknimönnum enda ekki talin hætta fyrir aðra steypu en í vatnamannvirkjum. Ber upprunaleg samsetning Steinsteypunefndar þessu glögggt vitni þar sem fulltrúar steypustöðva voru ekki tilnefndir í hana þar eð vandamálið var ekki talið varða almenna steypugerð.

Mjög fljótlega fór að bera á því að alkalíhættan og lausn hennar beindist að Sementsverksmiðju ríkisins fremur en framleiðendum steypuefnanna. Fyrir því voru sennilega þau rök að eingöngu var notað sement frá Sementsverksmiðjunni á þessum tíma og innflutningur sements bannaður. Þetta bann var síðan afnumið nokkru síðar eða með EFTA- samningnum 1970.

Við lok sjöunda áratugarins fór mjög að bera á gagnrýni verkfræðinga og byggingarmanna á gæði íslenska sementsins, sérstaklega styrk þess og samsetningu. Þessi gagnrýni fór hæst á fundi í Verkfræðingafélagi Íslands 24.október 1970. (44) Á fundinum komu m.a. greinilega fram áhyggjur verkfræðinga af háu alkalíinnihaldi sementsins frá Sementsverksmiðjunni og var þess krafist að úr yrði bætt og alkalímagn sementsins lækkað. Í umræðunni birtist nokkur ókunnugleiki fundarmanna og fyrirlesara á framleiðslunni í verksmiðjunni sem kom sérstaklega fram í tillögu að innflutningi á kísilríkum hráefnum í stað líparítsins. Þó að líparítið sé talsvert alkalíríkara en skeljasandurinn hefði útskipting á því gegn t.d. kvartsi of litlu skilað í lækkuðu alkalímagni þar sem líparítið er aðeins um 12% af hráefninu en skeljasandur 88%. En eins og áður kom fram voru menn ekki á eitt sáttir í byrjun en brátt varð um það samkomulag að Sementsverksmiðjan legði sig fram undir forustu Steinsteypunefndar um að finna lausn á alkalívandanum með breytingum á samsetningu sementsins. Eins og að framan er greint varð niðurstaðan íblöndun possólanefna í sementið en einnig kom til af hálfu steypu- og steypuefnaframleiðenda þvottur og betri umhirða steypuefnanna.

Umræðan um alkalíhættuna var í upphafi mest hjá verkfræðingum og öðrum tæknimönnum enda kynnti Steinsteypunefnd og Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins störf sín og rannsóknir á þeim vettvangi. (2 og 15)

Þegar alkalískemmdir koma fram 1975 til 1980 verður umræðan almennari og fréttafjölmiðlar fara að hafa á henni áhuga. Sem fyrr sýndist sitt hverjum og þá mjög tengt hagsmunum hvers og eins. Sumir gagnrýndu steypustöðvarnar fyrir slægleg gæði steypunnar, aðrir Sementsverksmiðjuna fyrir lélegt og alkalíríkt sement. Árið 1979 kemur fram í dagblöðum að lausn alkalívandans sé í auglýsni, Sementsverksmiðja ríkisins sé farin að blanda kísilryki í sementið en það dragi mjög úr hættunni á alkalískemmdum. (45) Þetta gagnrýnir dr. Óttar P. Halldórsson, prófessor við Háskóla Íslands, í Iðnaðarblaðinu og Þjóðviljanum haustið 1979. (46) Taldi hann óvarlega af stað farið með íblöndun kísilryksins enda óþekkt tækni á þeim tíma. Taldi dr. Óttar að heppilegasta leiðin til að forðast alkalískemmdir í framtíðinni væri að leggja niður brennslu sements í Sementsverksmiðjunni og flytja inn sementsgjall

erlendis frá og mala það í verksmiðjunni. Í sama blaði var viðtal við Jón Þórðarson steypustöðvareiganda á Ísafirði sem setti fram svipaða gagnrýni á Sementsverksmiðjuna og dr. Óttar. Út í frá var þessi gagnrýni dr. Óttars mjög óheppileg þar sem hann var einn af þekktari sérfræðingum landsins í steypufræðum. Þótti mörgum byggingarmanninum gott að vitna til þessarar gagnrýni ef fram komu steypuskemmdir í mannvirkjum á þeirra vegum enda hagkvæmt að benda á stórt ríkisfyrirtæki ef settar voru fram skaðabótakröfur. Á störf Steinsteypunefndar hafði þessi gagnrýni engin áhrif enda byggðust þau jafnt og þétt upp á sterkum grunni ránnsóknna og reynslu.

Á árinu 1980 er komin ný aðferð með vatnsfælum til að meðhöndla alkalískemmd steypufirborð. Kynnir Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins þessa nýjung í Tímanum í nóvember 1980. (47) Áður hafði alkalískemmd steypa eingöngu verið sett undir klæðningu til að þurrka hana út. Eins og áður hefur komið fram var hér um nýjung að ræða sem átti eftir að verða mjög jákvæð og áhrifarík í baráttunni við alkalískemmdir og vakti verðskuldaða athygli erlendra tæknimanna.

Í sjónvarpsviðtali 13. maí 1981 réðst dr. Bjarni Helgason jarðvegsfræðingur harkalega á Sementsverksmiðju ríkisins vegna samsetningar sementsins og fullyrti að verksmiðjan hefði ekki staðist gæðakröfur og valdið húsbyggjendum óbætanlegu tjóni. Sementsverksmiðjan svaraði þessum ásökunum í Morgunblaðinu 19. maí 1981 og dr. Bjarni bætti við gagnrýni sína í sama blaði 28. maí 1981. (48) Var gagnrýni dr. Bjarna nokkuð lituð af gagnrýni dr. Óttars einu og hálfu ári áður. Hélt hann mjög á lofti að ekki skyldi hafa verið hætt að nota líparít í sementsframleiðslunni og lausn vandans með kísilryksíblöndun væri mjög hæpin. Eins og dr. Óttar virtist dr. Bjarni ekki hafa nægilegar upplýsingar eða þekkingu á framleiðslu Sementsverksmiðjunnar til að gera sér grein fyrir tilgangssleysi þess að skipta út líparítinu fyrir t.d. kvarts. Sementsverksmiðjan hafði þó reynt að koma þessum skilaboðum út til tæknimanna á steypusviði þó að ekki hefði verið um það fjallað í fjölmiðlum.

Þótt greinarskrifunum væri beint gegn Sementsverksmiðjunni voru þau einnig öðrum þræði gagnrýni á störf Steinsteypunefndar. Formaður hennar, Haraldur Ásgeirsson, birti fljótlega grein í Morgunblaðinu undir yfirskriftinni „Varnir gegn alkalívá“ og lýsti ýtarlega þeim ránnsóknnum og aðgerðum sem Steinsteypunefnd og Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins hefðu framkvæmt. (49) Í greininni benti Haraldur eigendum skemmdra húsa á aðgerðir sem koma mættu að gagni við viðgerðir og viðhald. Margir tæknimenn sem málefnið þekktu undruðust gagnrýni fyrrnefndra vísindamanna og töldu þá jafnvel tala gegn betri vitund. Hugsanlega hefur pólitísk afstaða að einhverju leyti legið að baki þar sem um þessar mundir var mikil umræða í þjóðfélaginu um íslenskan iðnað og atvinnuvegi og hversu mikið ætti að styrkja og styðja þá með almannafé. Má þar nefna greinargerð „Ránnsókn- og upplýsingastofnunar ungra sjálfstæðismanna“ (RUUS) árið 1970 þar sem m.a. er varpað fram spurningunni hvort leggja beri Sementsverksmiðju ríkisins niður. (50)

Þrátt fyrir að Steinsteypunefnd teldi að komist hefði verið fyrir frekari skemmdir af völdum alkalívirgni var ljóst að þeir húsbyggjendur sem orðið höfðu fyrir því að hús þeirra skemmdust höfðu orðið fyrir umtalsverðum fjárhagsskaða. Málið kom til kasta Alþingis í mars 1981. Það var Birgir Ísleifur Gunnarsson alþingismaður sem beitti sér fyrir því með þingsályktunartillögu að fram færi opinber úttekt á útbreiðslu

alkalískemmda og húsbyggjendur fengju styrk eða fjárhagslega aðstoð til viðgerða á húseignum sínum. Niðurstaðan varð sú að Steinsteypunefnd framkvæmdi úttektina eins og fram hefur komið en fjárhagsaðstoð var veitt eftir öðrum leiðum.

Í blaðauka Þjóðviljans sumarið 1983 er viðtal við Hákon Ólafsson, þá forstöðumann steypudeildar Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins, undir fyrirsögninni „Kísilrykið verðmeira en sementið.“ (51) Í viðtalinu tíundar Hákon þróunina í baráttunni við alkalívandamálið en bendir í leiðinni á aðra skemmdavalda sem oft sé ekki nægilega tekið tillit til.

Um ári síðar skrifar Sturla Einarsson byggingameistari grein í Þjóðviljann þar sem hann fullyrðir að alkalískemmdir hafi komið fram í vikursteypu í tilraunahúsi sem hann var með í byggingu. (52) Taldi hann þetta ganga þvert á fullyrðingar Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins um að alkalískemmdir væru úr sögunni. Haraldur Ásgeirsson, forstjóri Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins, svarar fullyrðingum Sturlu í sama blaði, (53) segir þær algjöra firru og telur augljóst að um frostskemdir sé að ræða. Ekki sé óeðlilegt að léleg virkursteypa eins og þarna var um að ræða grotni niður í frosti.

Tæplega ári síðar er aftur viðtal við Hákon Ólafsson í DV. (54) Þar lýsir hann góðum árangri við notkun sílanefna til að vatnsverja steypu og telur hann sílanefnin góða vörn gegn alkalíþenslu. Í þessu viðtali kemur fram að frá því að íblöndun kísilryks var tekin upp í Sementsverksmiðju ríkisins hefðu alkalískemmdir ekki komið fram. Stuttu síðar birtist grein eftir Harald Ásgeirsson í Morgunblaðinu (55) þar sem hann lýsir sömu jákvæðu þróuninni í steinsteypugerð á Íslandi. Varar hann við því að hlaupa burt frá þessu ágæta íslenska byggingarefni til annarra og síðri innfluttra þó að vandamál hafi komið upp en þau væru að mestu leyst. Taldi hann að val á byggingarefni mætti ekki byggjast á röngum forsendum, upplýsingaskorti eða af því að alkalískemmdir hefðu einhverju sinni valdið skemmdum. Steypan væri nú betri vara en áður, sementið væri betra og aðgæsla framleiðenda og eftirlitsaðila hefði verið bætt.

Í blaðinu News from Iceland í desember 1984 undir heitinu „The walls come thumbling down“ er greinargóð lýsing á ensku um alkalívandamálið íslenska. (56) Kemur fram í greininni að höfundur hefur fengið upplýsingar frá Haraldi Ásgeirssyni um málið og skýrir hversu vel er þar farið með allar staðreyndir.

Haraldur Ásgeirsson skrifar grein í Morgunblaðið í byrjun árs 1986 sem hann nefnir „Alkalívá – eftirþankar,“ nokkurs konar framhald af grein er hann ritaði árið 1981. (57) Þar minnir hann á að ekki megi sofna á verðinum þó að alkalívandamálið hafi verið leyst, alkalíváin blundi áfram í gömlu steypunni.

Í byrjun febrúar 1988 kemur frétt í dagblaðinu Tímanum um Steinsteypudag Steinsteypufélags Íslands sem haldinn var 5. febrúar 1988. (58) Í umfjöllun um Steinsteypudaginn er sérstaklega getið um að formaður Steinsteypunefndar (Haraldur Ásgeirsson) hafi rætt um steypuskemmdir og talið að alkalískemmdir myndu minnka stórlega á næstunni. Hins vegar yrðu vandamál framtíðarinnar sprungur, leki og ryðmyndanir og hafi hann minnt á mikilvægi vandvirgni við niðurlagningu og góðrar aðhlynningar steypunnar. Hákon Ólafsson yfirverkfræðingur Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins ritar svo grein í Morgunblaðið í júní 1988

þar sem hann fer ítarlega yfir algengustu steypuskemmdir á Íslandi. (59) Lýsir hann þar orsökum þeirra og afleiðingum og gefur ráð um viðbrögð.

Líður nú fram á mitt ár 1989. Þá birtist Sturla Einarsson aftur á sjónarsviðinu vegna steypuskemmda í vikursteypu tilraunahúss hans (60) og kennir nú íslenska sementinu alfarið um skemmdirnar þar sem vikur geti ekki verið alkalívirgna. Vill hann að eftirlit með íslensku sementi verði hert og erlendar ránnsóknastofur fengnar til þess. Ummælum Sturlu er harðlega mótmælt í sama blaði af Guðmundi Guðmundssyni, tæknilegum framkvæmdastjóra Sementsverksmiðjunnar, sem rakalausum þvættingi. (60) Benti Guðmundur á í viðtali við blaðið að íslenska sementið væri ránnsað reglulega af Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins og danskri ránnsóknastofnun auk eftirlits verksmiðjunnar sjálfar.

Í byrjun árs 1990 kemur fram á ritvöllinn í Morgunblaðinu stjórnarmaður í Húseigendafélaginu Magnús Þórðarson byggingameistari, undir fyrirsögninni: „Ekki að benda á mig“. (61) Tilefni greinarinnar var fundur um steypuskemmdir sem haldinn var á vegum Steinsteypufélags Íslands, Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins og Húseigendafélagsins 2. desember 1989. Gagnrýnir Magnús í greininni flestalla sem að steypumálum koma og telur að skuldinni af miklum steypuskemmdum sé velt í of miklum mæli yfir á byggingamenn.

Miklum taugatitringi olli frétt í Ríkisútvarpinu 29. janúar 1990 sem gekk út á að Jón Guðmundsson verkfræðingur, sem stundaði ránnsóknánám við háskólann í Lundi í Svíþjóð, hefði komist að því í ránnsóknnum sínum að alkalívirgna væri enn til staðar í íslenskri steypu þrátt fyrir síendurteknar fullyrðingar Steinsteypunefndar og Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins um að hún fyrirfyndist ekki lengur. Hafði Jón kynnt þessar ránnsóknaniðurstöður á norrænni steypuráðstefnu nokkru áður. Dagblaðið Tíminn birti um þetta forsíðufrétt undir heitinu: „Ríður alkali enn húsum“. (62) Degi síðar er frétt um niðurstöður Jóns í DV. (63) Þar er skýrt frá því að Hákon Ólafsson, forstjóri Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins, hafi farið gagnert til Svíþjóðar til að kynna sér málið. Var þar einnig viðtal við Bjarna Jónsson, byggingatæknifræðing hjá fyrirtækinu Vernd, sem sérhæfði sig í steypuviðgerðum og taldi hann að niðurstöðurnar þyrftu ekki að koma Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins á óvart. Hákon Ólafsson kannaði svo ránnsóknaaðferðir Jóns Guðmundssonar í Lundi og komst fljótlega að raun um að ókunnugleika við að greina alkalískemmdir við háskólann var um að kenna og að um venjulega þurrkrýrnun var að ræða. Dagblaðið Tíminn birti þessar niðurstöður Hákonar ásamt harðorðri gagnrýni frá Sementsverksmiðju ríkisins á uppsláttargleði blaðsins. (64) DV birti einnig gagnrýni verksmiðjunnar þar sem fram kom að gagnrýni Bjarna Jónssonar væri sennilega lituð af hagsmunaástæðum. Vernd notaði innflutt viðgerðarefni sem ekki væru íblönduð með kísilryki. (65)

Eftir þessa uppákomu þagnaði umræðan um alkalívandamálið að mestu. Á Steinsteypudegi Steinsteypufélags Íslands árið 1992 hélt Gunnar Idorn erindi í tilefni 25 ára starfsemi Steinsteypunefndar. Ræddi hann þá við fasteignablað Morgunblaðsins. (66) Taldi hann steinsteypu á Íslandi vera betri en í nágrannalöndunum og væri það aðgerðum Steinsteypunefndar og ránnsóknnum Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins að þakka. Einkum vildi hann þakka íblöndun kísilryksins í sementið þennan góða árangur og taldi að þó að arðsemi

kísiljárnvinnslunnar væri ekki sem skyldi þá hefði tilkoma járnblendiverksmiðjunnar verið byggingariðnaðinum íslenska til happs.

Til gamans má hér vitna í Víkverja í Morgunblaðinu 1994. (67) Minnst Víkverji þar á alkalískemmdir í mannvirkjum og alvarleika þeirra. Segir hann að fram séu komnar alkalískemmdir í Borgarfjarðarbrúnni sem kalli á dýrar viðhaldsaðgerðir. Rétt er að geta þess að þessar skemmdir í Borgarfjarðarbrúnni reyndust ekki alkalískemmdir.

Ný sýn leikmanns á alkalívandamálið birtist svo í fasteignablaði Morgunblaðsins árið 1997. (68) Baldur Hannesson, framkvæmdastjóri Fínpússningar sf., telur að líta megi á alkalívirgni sem afleiðingu en ekki orsök steypuskemmda þar sem steypan verði að vera vatnsdræg til að þensla komi fram. Vandvirgni í steypugerð dragi úr hættu á skemmdum.

Árið 1998 skrifar Hákon Ólafsson forstjóri Rannsóknastofnunar afmælisgrein um Steinsteypunefnd sem varð 30 ára árið áður. (69) Lýsti hann þar störfum nefndarinnar þessi 30 ár og árangri af rannsóknum hennar og Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins. Skömmu síðar skrifar Guðmundur Guðmundsson, fyrrverandi framkvæmdastjóri Sementsverksmiðjunnar, kynningargrein um bók Gunnars M. Idorn, „Framþróun steinsteypu frá fornöld til þriðja árþúsundsins“, í Morgunblaðið. (70) Í bókinni er mikið komið inn á störf Gunnars vegna alkalískemmda víðs vegar í heiminum, m.a. á Íslandi.

Árið 2000 er DV á ferðinni í Sementsverksmiðjunni á Akranesi. (71) Er nú annað hljóð í blaðinu en áratug fyrr. Ræðir blaðið við yfirmenn fyrirtækisins og fyrirsögnin er: „Íslenskt sement, bólusett gegn alkalískemmdum, íblöndun kísilryks hefur gefið góða raun“.

Ekki var þó öllum skrifum leikmanna lokið um alkalívandann. Pétur Björnsson, fyrrverandi forstjóri Vífilfells, spyr í grein í Morgunblaðinu árið 2001, sem annars fjallaði um allt annað efni, hvers vegna íslenskt sement hafi ekki verið notað í virkjanir á Íslandi og hvers vegna sú staðreynd hafi verið falin fyrir íslenskum almenningi. (72) Þetta sýnir að ekki höfðu allir áttað sig á þessum málum rúmum 30 árum eftir stofnun Steinsteypunefndar. Hákon Ólafsson formaður nefndarinnar hrakti þessar fullyrðingar í grein í Morgunblaðinu stuttu síðar. (73)

Eftir þetta má segja að umræðan um alkalískemmdir hafi þagnað í fjölmiðlum. Upp úr þessu hófst innflutningur dansks sements til landsins og samkeppni hófst á sementsmarkaðinum. Síðasta fréttin sem hér er nefnd varðar ekki alkalívandamálið heldur Steinsteypunefnd. Var því slegið upp í DV árið 2002 að samkeppnisaðili Sementsverksmiðjunnar, Aalborg Portland á Íslandi, hefði sóst eftir setu í Steinsteypunefnd og Sementsverksmiðjan sett sig á móti því. (74)

Mynd 25: Haraldur Ásgeirsson og dr. Guðmundur Guðmundsson hafa báðir verið sæmdir fálkaorðunni fyrir störf sín á sviði alkalívirgkni steinsteypu.

8. Heimildir:

- 1) Tryggvi Ólason og Hákon Ólafsson. 1981. Ránnsóknaskýrsla Steinsteypunefndar nr. 4.
- 2) Guðmundur Guðmundsson. 1971. *Alkalíefnabreytingar í steinsteypu* Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins.
- 3) Guðmundur Guðmundsson. 1974. *Ránnsóknir á alkalívirgna íslenskra steypufylliefna, Tímarit VFÍ*, bls. 54-59.
- 4) Sveinbjörn Sveinbjörnsson, árið ?. erindi á Steinsteypudegi.
- 5) Ársskýrslur Sementsverksmiðju ríkisins 1972, 1973, 1974 og 1976.
- 6) The Effect of Alkalies on the Properties of Concrete, Proceedings of a Symposium in London. September 1976.
- 7) Gunnar Idorn. 1997. Concrete Progress. *From Antiquity to the third Millennium*. Thomas Telford Publisher. London.
- 8) Seminar on Alkali-Silica Reaction. May 1974. Betonforsningslaboratoriet Karlstrup.
- 9) Symposium on Alkali-Aggregate Reaction. August 1975. Reykjavík.
- 10) Sbr. (1) fyrst sett fram: Thomas Stanton, Expansion of concrete through reaction between cement and aggregat. 1940. Trans. A.S.C.E. 107, paper 2129, 53-126 og Proc. A.S.C.E. 66, 1781-1811. New York.
- 11) Book of ASTM standards, Part 10. Concrete and Mineral Aggregates.
- 12) Alkaliudvalgets vejledning 1. 1961. Teknisk forlag København.
- 13) M. Kawanmura and M. Ichise. 1990. Cement and Concrete Research, Vol. 20, pp. 757-766.
- 14) The Use of Union Carbide Slags and Fumes in Cement and Concrete. November 1971. Université og Sherbrooke.
- 15) Trætteberg, 1978. Silica Fumes as Possolan Material, *Il Cimento* Vol. 75, no. 3, pp. 369-375.
- 16) Haraldur Ásgeirsson. 1978. *Alkalívirgna í steinsteypu – orsakir og mótaðgerðir*. Tímarit VFÍ, bls. 26-27.
- 17) G.Guðmundsson og H. Ásgeirsson. 1979. *Possolan Activity of Silica Dust*. Cement and Concrete Research Vol. 9, pp. 249-252.
- 18) G.Guðmundsson and H.Ásgeirsson. 1983. *Alkalies in Concrete, Proceedings 6th. International Conference*. Copenhagen, pp 217-221.
- 19) Gunnar Idorn. 1981. *5 International Conference on Alkali Aggregate Reactions in Cape Town*.
- 20) Nordic Seminar on condensed Silica in Concrete. 1982. Norwegian Institut of Technology.
- 21) H. Ásgeirsson. 1986. *Cement and Concrete Research*, Vol. 16, pp. 423-428.
- 22) K.E.Löland og O.E.Gjörv. 1981. Nordisk Beton, Nr. 6.
- 23) G.Guðmundsson and H.Ólafsson 1999. *Cement and Concrete*, 29, 1289-1297.
- 24) K.H.Khayat and P.C. Aitcin. 1992. *Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Possolans in Concrete*, 4th International Conference. Istanbul.
- 25) Kynningarblað Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins og Sementsverksmiðju ríkisins. 1990.
- 26) Ránnsóknaskýrsla Ránnsóknastofnunar byggingariðnaðarins nr. H75 / 322.
- 27) Fundargerðir Steinsteypunefndar.
- 28) Steypuskemmdir, ástandskönnun. 1979. dr. Ríkharður Kristjánsson,

- Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr. 33.
- 29) Bréf frá dr. Gunnari Idorn til Haraldar Ásgeirssonar ásamt enskri umsögn um skýrslu dr. Ríkharðs Kristjánssonar 9.4.1979
 - 30) Alkalískemmdir, Hákon Ólafsson og Bjarni R. Þórðarson, Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, 1984
 - 31) Alkalívirgkni steypuefna á Íslanði og áhrif salts og possólana á alkalívirgkni steinsteypu, Hákon Ólafsson og Þorgeir Helgason, Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr. 50, 1983
 - 32) H.Olafsson. 1983. *Alkalís in Concrete, Proceedings, 6th International Conference*, Copenhagen, pp 479-485
 - 33) Alkalívirgkni steypu eftir 1979, Sveinbjörn Sveinbjörnsson o.fl. Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, ránnsóknaskýrsla, júní 1987
 - 34) Alkalívirgkni í steinsteypu, Bjarni Þórðarson o.fl., Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, ránnsóknaskýrsla, september 1991
 - 35) Hákon Ólafsson og Jón Gestsson. Áhrif vatnsfælna á steinsteypu, Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, ránnsóknaskýrsla, janúar 1988
 - 36) Samspil alkalívirgkni og frostopls í steinsteypu, Hákon Ólafsson o.fl. Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, ránnsóknaskýrsla, janúar 1989
 - 37) Innri gerð íslenskrar steinsteypu, ástandskönnun, Edda Lilja Sveinsdóttir og Gísli Guðmundsson, Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, ránnsóknaskýrsla, apríl 1994.
 - 38) Oberholster, R.E. and Davis, G. An accelerated Methode for testing the potential alkali Reactivity of silicious Aggregates, Cement and Concrete Research 16, 1986, pp. 181-189
 - 39) Gísli Guðmundsson, valmöguleikar á prófunaraðferðum, erindi á Steinsteypudegi Steinsteypufélags Íslanðs árið 1997
 - 40) Silica Fume in Concrete, 16 years of Experience in Iceland, G.Gudmundsson and H.Olafsson, Proceedings of the 10th International Conference on alkali-aggregate Reaction in Concrete Melbourn, August 1996, pp. 562-569
 - 41) Alkali-silica reactions and silica fume, 20 years of experience in Iceland, Gisli Gudmundsson and Hakon Olafsson, Cement and Concrete Research 29, (1999) pp. 1289-1297
 - 42) D.A. St. John, The dispersion of silica fume, E&FN Spon, London 1997, pp. 58- 66
 - 43) G.M. Idorn, Concrete International, May 1992, pp. 71
 - 44) Gísli Guðmundsson, Ránnsóknastofnun byggingariðnaðarins, október 1996
 - 45) Tímarit Verkfræðingafélags Íslanðs, 55 árgangur, 4. hefti 1970
 - 46) Vísir 14.5.1979
 - 47) Iðnaðarblaðið 5. tbl. 1979
 - 48) Tíminn, 4.11.1980
 - 49) Morgunblaðið 19.5.1981 og 28.5.1981.
 - 50) Morgunblaðið 14.7.1981
 - 51) Tímaritið Stefnir, 3. tbl. 1970
 - 52) Þjóðviljinn 7.7.1983
 - 53) Þjóðviljinn 14. 6 1984
 - 54) Þjóðviljinn 15.6. 1984
 - 55) DV 25.6.1984
 - 56) Morgunblaðið 18.7.1984
 - 57) News from Iceland desember 1984
-

- 58) Morgunblaðið 31.1.1986
- 59) Tíminn 6.2.1988
- 60) Morgunblaðið 29.6.1988
- 61) Þjóðvilinn 15.6.1989
- 62) Morgunblaðið 16.1.1990.
- 63) Tíminn 1.2.1990
- 64) DV 2.2.1990
- 65) Tíminn 6.2.1990
- 66) DV 7.2.1990
- 67) Morgunblaðið 16.2.1992.
- 68) Morgunblaðið 22.10.1994
- 69) Morgunblaðið 12.8.1997
- 70) Morgunblaðið 21.2.1998
- 71) Morgunblaðið 8.5.1998
- 72) DV 15.6.2000
- 73) Morgunblaðið 13.7.2001
- 74) Morgunblaðið 24.7.2001
- 75) Morgunblaðið 28.5.2002
- 76) Ríkharður Kristjánsson. Upp í vindinn, blað byggingarverkfræðinema 12. árg. 1993
- 77) Börge Vigum og Vala Dröfn Björnsdóttir, Alkali Aggregate Reaction in Iceland – New Test Methods. VGK Hönnun, rannsóknaskýrsla.