

Orkustofnun
STRAUMFRÆÐISTÖÐ

GATNAMÁLASTJÓRINN Í REYKJAVÍK
STRAUMRANNSÓKN Í FOSSVOGI

Skýrsla nr. 1 um niðurstöður rannsókna

Ágúst 1967

STRAUMRANNSÓKN Í FOSSVOGI

Skýrsla nr. 1

1.	Formáli	bls.	1
2.	Yfirlit	"	3
3.	Tilgangur rannsóknar	"	5
4.	Gagnasöfnun	"	5
5.	Skipulag rannsókna	"	7
6.	Framkvæmd forathugunar	"	10
7.	Framkvæmd aðalmælingar	"	11
8.	Úrvinnsla	"	13
9.	Niðurstöður	"	22
10.	Ályktanir af niðurstöðum	"	24

Viðauki : UM TÚRBÚLENS

Mappa með teikningum og fylgiskjölum

1. FORMÁLI

Á fundi hjá Gatnamálastjóra 3.5. sl., var samþykkt, að Straumfræðistöðin skyldi semja frumdrög að rannsóknaráætlun fyrir straumrannsóknir í Fossvogi. Skyldi rannsókn þessi beinast að því, hvort hentugt væri að staðsetja útlögn skolpræsis þess, sem nú er vestan við olíustöð Skeljungs í Skerjafirði, á svæðinu milli olúbryggjunnar og Hólma, eða þar í grennd.

Frumdrög þessi voru send Gatnamálastjóra 9.5., ásamt bréfi, og með bréfi frá Gatnamálastjóra 19.5. var Straumfræðistöðinni falin yfirumsjón rannsóknarinnar í samræmi við áður nefnda áætlun. Rannsókn var síðan framkvæmd undir stjórn Jónasar Eliássonar verkfræðings Straumfræðistöðvarinnar.

Áætlun fyrir rannsóknina var send Gatnamálastjóra 23.5., og mælingar framkvæmdar 5.6. og 13.6., nema straummæling, er framkvæmd var 22.6., og eru niðurstöður mælinganna birtar í skýrslu þessari.

Eins og rannsóknin var framkvæmd, er hún uppbyggð af athugunum, er allar hafa verið framkvæmdar áður hér á landi einar sér, en aldrei í heild. Þar eð hvorki var æskilegt né mögulegt fyrir Straumfræðistöðina að framkvæma rannsóknina með eigin mannskap, var strax í upphafi leitað til þeirra aðila, er sérþekkingu höfðu á hinum einstöku rannsóknarþáttum, og þeir fengnir til að framkvæma þá í samræmi við heildaráætlun. Þessir voru :

Unnsteinn Stefánsson	Hafrannsóknastofnunin
Ágúst Böðvarsson	Landmælingar Íslands
Sigurjón Rist	Orkustofnun, vatnamælingar
HÖNNUN	Verkfræðistofa

Ber að þakka öllum þessum aðilum velunnin störf. Var samvinna við þá alla hin bezta, enda þótt veður og skipaferðir settu hina upphaflegu tímaáætlun úr skorðum.

Er mælingum var lokið og niðurstöður lágu fyrir að mestu, voru þær lagðar fyrir Gatnamálastjóra á fundi. Ljóst var þá, að aðstæður til að koma frárennsli frá Skildinganesi til sjávar voru erfiðari en vonast hafði verið eftir í fyrstu. Var þá ákveðið, að tillögur að nýrri staðsetningu útlagnar Fossvogsræsis skyldu vera hluti verkefnisins.

Var það verk hafið og samráð haft við Ólaf Guðmundsson, deildarverkfræðing Gatnamálastjóra. Kom brátt í ljós, að ekki væri æskilegt að hefjast handa, nema fyrirfram yrði ákveðið, hve mikla mengun mætti leyfa á svæðinu innan Álftaness og Skildinganess, og tekið væri tillit til mengunar, er sleppt væri út annars staðar en í Fossvogsræsi, og á þetta einkum við útlagnir staðsettar í Fossvogi.

Ákveðið var því að birta niðurstöður mælinganna nú þegar, en birta síðar tillögur að nýrri útlögn í sérstakri skýrslu, er samin væri á grundvelli ákvarðana um leyfilega mengun og rannsókna á mengunargetu skólps.

2. YFIRLIT

Skýrsla þessi fjallar um straumrannsókn, gerða að tilhlutan gatnamála-stjórans í Reykjavík, á svæði, er afmarkast af línu milli Skildinganess og Bólstaðaeyrar að vestan, Kársnessbryggju og Bessastaðaness að sunnan, Nauthólsvíkur og Kársness að austan og ströndum milli þessara lína. Tilgangur rannsóknarinnar var að finna heppilega staðsetningu á útlögn Fossvogsræsis, þannig að mengun frá ræsinu yrði sem minnst á mælisvæðinu, einkum á sjóbaðstaðnum í Nauthólsvík.

Rannsóknin var skipulögð af Straumfræðistöð Orkustofnunar og framkvæmd dagana 1. - 22. júní 1967, og var haft samstarf við aðila, er reynslu höfðu í hinum einstöku þáttum rannsóknarinnar. Áætlað var, að rannsókn yrði lokið 7. júní, en henni varð eigi lokið fyrr en 22. júní sökum óhagstæðra veðurskilyrða.

Rannsókninni var skipt í forathugun og aðalmælingu. Forathugun náði til straumbaujumælingar og hafrannsóknar. Með straumbaujumælingu var straumhraði innan svæðisins mældur á tímabilinu frá 1 klst. eftir fjöru til 1 klst. fyrir flóð, þannig að 12 straumbaujur voru láttnar reka fyrir straumi og staðsettar á hálf tíma fresti með samtímasigtum frá 3 teodolitum í landi. Með hafrannsókn var hitastig og selta sjávarins mæld eftir línu frá Bessastaðanesi að olíustöð Skeljungu. Reyndist ekki nauðsynlegt að framkvæma víðtækari hafrannsókn í aðalmælingu.

Aðalmæling fór fram 13.6. Þá var mældur straumhraði innan mælisvæðisins með 10 straumbaujum, og litarefni, er sett var í sjóinn og ljósmyndað úr þyrilu. Stóð mæling yfir á tímabilinu frá fjöru til fjöru, 13 klst. alls. Vegna óhagstæðs veðurs var ekki hægt að framkvæma straumhraðamælingu í Bessastaðasundi, eins og áætlað hafði verið, og var hún framkvæmd 22.6., og náði yfir 13 klst., eins og aðalmæling.

Við mælingu kom í ljós, að vindur hefur allmikil áhrif á straumstefnur og hraða á hinum grynri hlutum mælisvæðisins og myndar auk þess víða yfirborðsstrauma. Vitað er hins vegar, að vindur hefur lítil áhrif á fyllingu og tæmingu svæða sem þessa með flóði og fjöru.

Við úrvinnslu kom í ljós, að fallstraumum innan svæðisins er nægilega vel lýst með reikningslegu straumlíkani, er gerir ráð fyrir stöðugum

straumi í h. u. b. 3 tíma meðan hann er mestur á hverju falli, en línulega breytilegum þess á milli. Byggir straumlíkan þetta á niðurstöðum straumbaujumælingar og straumhraðamælingar sameiginlega. Einnig kom í ljós, að sökum þess að meira vatnsmagn streymir inn Bessa- staðasund en út, eru vatnsskipti á svæðinu vegna fallstrauma minnst sem svarar 13% af heildarmagninu, er streymir inn og út á hverju flóðtímabili, eða 3.3 millj. m³ að meðaltali.

Með notkun straumlíkans verða reikningar á útbreiðslu mengunar verulega einfaldari. Straumlíkan er notað til að finna fallstrauma sérstaklega og vindáhrif sérstaklega, ennfremur til að reikna blöndun, sem litarefnisljósmyndun sýnir, að er mikil. Niðurstöður reikninganna eru birtar í texta skýrslunnar, en millireikningum sleppt, að öðru leyti en því, að viðauki: "Um túrbúlens" skýrir grundvallaratriðin í reikningum á túrbúlent straumi með breytilegum skerspennum.

Dreifingu mengunar um mælisvæðið verður bezt lýst þannig, að hinir stöðugu straumar, sem nefndir eru flóðstraumur og fjörustraumur, eftir því hvort þeir stefna út eða inn, taka í sig mengun og bera hana milli staða, en á tímabilinu milli þeirra blandast hún því vatni, er fyrir er á staðnum. Á grundvelli mælinganna eru svo unnin straumlínukort, er sýna stefnu straumsins á mælisvæðinu. Örvar sýna straumhraðann á milli straumlínanna.

Straumlínukort sýna, að aðstæður til að koma frárennsli frá Skildinganesi, án þess að hindra hreinsun Fossvogs, eru erfiðar. Með því að bera mengunarathuganir Borgarlækis við mæliniðurstöður, fæst, að mengun Fossvogs hlýtur að stafa að mestu frá útlögnum í Fossvogi sjálfum, en Fossvogsræsi hindrar eðlilega hreinsun vogsins.

Niðurstöður þessar voru lagðar fyrir Gætnamálastjóra, sem taldi æskilegt, að reynt yrði að framkvæma breytingar á útlögninni í áföngum. Ákveðið var, að gerð tillagna að nýrri útlögn skyldi teljast hluti rannsóknarinnar. Er það verk var hafið, kom í ljós, að æskilegast væri að rannsaka mengunargetu skólpsins, með tilliti til, að unnt yrði að áætla, hve mikil mengun yrði á mælisvæðinu af völdum leiðslunnar. Var þá ákveðið að birta mæliniðurstöður í sérstakri skýrslu, og gera aðra um tillögur að breyttri útlögn.

3. TILGANGUR RANNSÓKNAR

Til að unnt sé að meta, hvort staðsetning útlagnar sé heppileg, þarf að vita,

1. Straumstefnu og hraða á svæðinu, þannig að unnt sé að ákveða, hvort hætta sé á, að óhreinnað vatn berist upp á óæskilegum stöðum.
2. Útbreiðslu og útbreiðsluhraða (diffusion) hins mengaða vatns í straumnum. Gert er ráð fyrir, að skólpið sé léttara en sjórinn og leiti upp á yfirborð, en blandist fljótlega og fái sömu eiginleika og sjórinn í kring.
3. Vatnsskipti á svæði því, er útlögnin verður. Mengun svæðisins vex ekki yfir það mark, að heildarstraumurinn út beri með sér sama skólpmagn og leiðslan að meðaltali.

Straumar á svæðinu ráðast af sjávarföllum og vindi, og að sjálfsögðu er ómögulegt að rannsaka til hlítar ofangreind atriði við öll þau misjöfnu skilyrði, sem þessir þættir skapa. Því var ákveðið í upphafi að framkvæma mælinguna í rólegu veðri og reyna síðan að gera sér grein fyrir, hver áhrif vindar hefðu á hina mældu straummynd, sem sjávarfallastraumar væru að mestu valdir að. Er þetta gert einnig vegna þess, að búast má við mestri mengun í rólegum veðrum, þar sem vindstraumar stuðla að auknum vatnsskiptum á svæðinu.

Til að slíkar mælingar nái tilgangi sínum, er einnig nauðsynlegt að vita, hvort hita- eða seltuskil finnast í sjónum, þar eð slík skil valda venjulega straumskiptum, er ekki þurfa að finnast í mælingu. Því var ákveðið að mæla hita og seltu innan svæðisins.

4. GAGNASÓFNUN

Dýptarkort af heildarsvæðinu var ekki fyrirleggjandi, annað en sjókort nr. 45, sem er í mælikvarða 1:35.000 og ekki nógu nákvæmt.

Hjá Sjósmælingum Íslands fékkst kort SV 30, er sýnir Fossvoginn, einnig SV 9, er sýnir siglingaleiðina gegnum Bessastaðasund og flesta fasta punkta Sjósmælinganna í nágrenni Reykjavíkur. Hjá Vitamálaskrifstofunni fengust dýptarkort af nágrenni Kársnesbryggju ásamt kortum af

nágrenni Shellbryggjunnar og annað af Bessastaðasundi. Bæði voru kort þessi þó gömul.

Bezta kortið fékkst hjá Skeljungu. Það sýnir dýpi á öllu svæðinu frá mynni Arnarvogs og Fossvogs út siglingaleiðina, og er í mælikvarða 1:5000. Var þetta kort notað við allan undirbúning mælinganna og einnig notað sem aðalefniviður í dýptarkort það, er hér fylgir.

Dýptarkort af svæðinu út af Skildinganesi, nothæft dýptarkort af Bessastaðasundi og dýptarkort af Kópavogi, Arnarvogi og Lambhúsatjörn, voru ekki fyrirliggjandi. Var ákveðið að láta sjókort nr. 45 duga fyrir síðastnefnda svæðið, en dýptarmæla Bessastaðasund og svæðið út af Skildinganesi með tilliti til straumhraðamælingar og straumbaujumælingar, er lýst verður hér á eftir.

Leitað var til þeirra, er líklegir voru til að vita, hvort nokkrar straummælingar eða hita- og seltumælingar hefðu verið gerðar á svæðinu, og reyndist svo ekki vera. Guðmundur Þorsteinsson, verkfræðingur Skeljungs, upplýsti, að fallstraumur væri slíkur á viðlegustað hinna stærri olíuskipa, að dráttarbátar gætu ekki athafnað sig með skipin nema á liggjandanum, ef ekki væri austlægur vindur. Sýnir þetta, að straumur er einhver á þessum stað á hverju falli.

Leitað var til skrifstofu borgarlæknis um niðurstöður þeirra mengunarmælinga, er fram hafa farið á vatnssýnishornum úr Skerjafirði, og fylgja þær hér með í töflu nr. 4.1 og á mynd nr. 4.1. Niðurstöðurnar eru prófanir á tilvist kólígerla af sauruppruna, en þó kólígerlar séu ekki hættulegir sjálfir, sannar tilvera þeirra lífsskilyrði annarra smithættulegra gerla. Niðurstöðurnar eru ekki fyllilega samþærilegar, þar sem gerlafræðingarnir, er rannsóknirnar hafa annast, hafa notað tvö mismunandi rannsóknarkerfi, sem lítið samband er á milli, þrátt fyrir það, að í báðum tilfellum sé rannsóknin prófun á tilvist kólígerla eftir Eijkmans aðferð. Önnur niðurstaðan er líklegasti fjöldi kólígerla í desilítra, en hin hve mörg af tíu 10 ml glösum innihalda kólígerla. Síðari aðferðin gefur niðurstöðuna sem heila tölu milli 0 og 10, en hin fyrri MPN = 0 - 2400. Beinn faktor er ekki milli þessara mælikvarða, en líklegt er, að öll MPN yfir ca. 250 gefi 10 á hinum mælikvarðanum.

Aflað var upplýsinga um skólplögn þá, er kemur út vestan Skeljungs. Leiðslan er dimensioneruð fyrir :

Flutningsgetu	2800 l/sek
Mesta skolpmagn	1470 "
Meðalskolpmagn	600 "

Magn þetta er mjög mikið, enda reiknað út frá vatnsnotkun 700 l á sólarhring á íbúa. Gert er ráð fyrir, að íbúar á frárennslissvæði lagnarinnar verði 75.000. Íbúar svæðisins eru mun færri, en reikna má með, að þeir verði um 20.000 í árslok '68.

Engar upplýsingar liggja fyrir um eiginleika skólpmatnsins, eðlisþyngd þess eða mengunargetu.

5. SKIPULAG RANNSÓKNA

Til að ná tilgangi sínum var rannsóknin skipulögð þannig:
(númer vísa í 3. kafla)

1. Straumhraðamæling með straumbaujum, sem vindur hefði sem minnst áhrif á. Heppilegra verður að teljast, að skólpmatnið blandist fremur þeim straumi, sem leitar út um Bessastaðasund en þeim, er leitar út milli Skildinganes og skerja. Einnig verður að teljast heppilegra, að innstraumurinn beri skólpmatnið fremur inn milli Kársness og Bessastaða heldur en inn í Fossvog.
2. Litarefni var sett út frá bát, og útbreiðsla þess fundin með ljósmyndun úr lofti. Einnig var þynning litarins fundin með töku sýnishorna.
3. Vatnsmagn það, er streymir um Bessastaðasund á einu falli, var mælt. Vatnsskiptin á tímabilinu eru fundin með því að bera niðurstöður við flóðprismað.

Einnig athugaði Unnsteinn Stefánsson hitastig og seltu sjávarins með tilliti til, að eðlisþyngdarskil, er valdið gætu straumskiptum, kæmu fram.

Rannsóknin var framkvæmd í tvennu lagi aðallega, forathugun og aðal-

mæling. Forathugun var gerð til að finna, hvort innan svæðisins væru nokkur straumfyrirbrigði, er þyrftu sér rannsóknar við, einkum rastir eða hringiður, einnig til að athuga, hve umfangsmikil hafrannsóknin og straumbaujumælingin þyrfti að vera til að ná tilgangi sínum.

Forathugun var framkvæmd á tímabilinu milli fjöru og flóðs, þar eð á því falli berst skólpið óhjákvæmilega inn á svæðið, hvar sem útlögnin er endanlega staðsett. Gerð var undirbúningsáætlun og mælingaráætlun forathugunar, sem var tímasett þannig, miðað við fjöru kl. 0:

Framkvæmd undirbúningsáætlunar	kl. 0 - kl. 1.0
" mælingar	" 1.0 - " 4.0

Undirbúningsáætlun fól í sér uppstillingu og innmiðun tækja ásamt útlagningu straumbauja. Var vélbátur frá Skeljungi fenginn til að annast það verk.

Við framkvæmd forathugunar kom í ljós, að straumar á svæðinu eru frekar reglulegir, en verða fyrir töluverðum áhrifum af vindi. Einnig sást, að nákvæmni straumbaujumælingarinnar var nægileg, en framkvæmd hennar næm fyrir truflunum. Því var straumbaujunum fækkað um tvær og hlé með hálf tíma millibili innfærð til að komast fyrir truflanir. Endanleg rannsóknaráætlun aðalmælingar er birt á mynd nr. 5.1.

10 straumbaujur voru smíðaðar þannig, að neðst var kross úr tveim olíusoðnum masonítplötum, á yfirborði flotholt úr netaplasti á miðri 2 m stýristöng úr tré. Strengur var bundinn milli kross og stýristangar, og á efri enda hennar voru 3 mislit merkjaflögg, þannig að þekkja mátti hverja bauju. Jafnmörg flögg voru á öllum baujum til að forðast rugling í lengstu lög, þótt eitt flagg eða fleiri týndust. Hverri bauju var gefið nafn, sem var upphafsstafir litanna ofan frá og niður eftir, svo baujunúmer þyrfti ekki að nota í viðræðum mælingamanna meðan á mælingu stóð.

Baujurnar voru framskornar inn frá þrem teodolitum staðsettum í fyrirfram innmældum punktum, SH á Shellbryggju, BN á Bessastaðanesi og KN á Kársnesi, og til samans náðu þeir yfir allt vatnasvæðið innan skerja, að undanskildum innsta hluta Arnarvogs og Fossvogs.

Mælibátur með tveim mönnum, búnum sextöntum, hafði m. a. það verkefni, að fylgjast með straumbaujunum, taka þær upp og sjósetja aftur samkvæmt fyrirmælum stjórnanda, taka þær baujur upp, sem strönduðu eða rak út fyrir mælisviðið, og skýra frá því, einnig að staðsetja með tímasettum bakskurði þær straumbaujur, er færu út fyrir mælisvið teodolitanna.

Við hvern teodolit var mælingamaður og skrifari. Auk mælitækja voru þeir útbúnir smátalstöð, sjónauka, sérstöku eyðublaði til færslu á niðurstöðum og skeiðklukku, er sýndi mínútur og sentimínútur. Eftir skeiðklukkunni sigtuðu þeir á baujurnar eftir röð, með 2.5 mín. á milli bauja, tvö sigti á hverja með 0.1 mín. millibili. Þegar sigtað hafði verið á allar 10 að 22.5 mín. liðnum, var 7.5 mín. hlé, unz næsta umferð var hafin. Þannig liðu alltaf 30.0 mín. á milli sigta, og rekvegalengd baujunnar á tímabilinu er mælikvarði á hraða hennar.

Til útlagningar á straumbaujum var merkt lína frá Skildinganesi norðan Skeljungs til Bessastaðaness (lína L). Baujur voru hafðar misdjúpar til ákvörðunar á breytingum straumsins eftir dýpi, og þeim raðað þannig, að allar greinar straumsins kæmu sem bezt í ljós.

Til að viðhalda nauðsynlegu sambandi milli mæliflokka voru notaðar 5 smátalstöðvar, 3 hjá teodolitum, ein í mælibát og önnur hjá stjórnanda.

Ípróttafélagið Ármann lánaði góðfúslega bátaskýli sitt í Nauthólsvík fyrir tækjageymslu og skrifstofu meðan á mælingu stóð, og ber þakkir fyrir.

Litarefnisljósmýndun var framkvæmd af Ágústi Böðvarssyni og aðstoðarmanni frá þyrilu Andra Heiðberg. Teknar voru litmyndir og venjulegar ljósmýndir af litarbletti á klukkutíma fresti meðan straumur var lítill, en á hálf tíma fresti meðan straumur var mestur. Litarefnið var sett út í kílópokum, sem hellt var úr á hafflötinn, fyrst í punkti LM, og síðan blettmiðju, þegar bletturinn var tekinn að óskýrast. Sérstakur bátur með einum manni sá um litarútlagningu, einnig um sýnishornatöku úr blettinum með vissu millibili, sem voru bornar saman við litarmælikvarða í landi, og niðurstöður skráðar. Með jöfnu millibili voru lagðir út belgir í blettmiðju, þeir mældir inn og teknir upp af mælibát.

Straummæling var framkvæmd af Sigurjóni Rist vatnamælingamanni og

3 aðstoðarmönnum. Notaður var bátur með utanborðsmótor, búinn hangandi straumhraðamæli. Fundið var minnsta þversnið í Bessastaðasundi, þar festir 4 punktar með akkerum og þversniðslínan merkt með sigtum í landi.

Í hverjum punkti var straumhraðinn mældur í nægilega mörgum dýptum til að ákveða hraðaprófilinn, og einnig var mælt oftar en einu sinni í hverri hæð, til þess að ákveða stutt tímabreytingar á straumhraðanum. Með sjávarhæðarmælingum í landi var fylgzt með flóðhraðanum til samanburðar við sírita Sjósmælinga Íslands í Reykjavíkurhöfn.

Hafrannsókn var framkvæmd af Unnsteini Stefánssyni í mælibát með áhöfn. Ákveðið var að kanna fyrst línu L og taka síðan ákvörðun um, hvort fleiri athugana væri þörf. Mælt var hitastig og sýnishorn tekin til seltumælinga.

6. FRAMKVÆMD FORATHUGUNAR

Forathugun skyldi hefjast 1.6. kl 8. Öllum undirbúningi var lokið á tilsettum tíma, en er mæling skyldi hefjast hvessti af SA, svo ekki reyndist unnt að koma út straumbaujunum. Veður hélzt hvasst til 6.6., en þá var mæling hafin í góðu veðri. Er mæling var hafin, hvessti af N, og hélzt vindur meðan á mælingu stóð ca. 10 m/sek. Reyndist mjög örðugt að halda mælibát úti, svo lítið eftirlit var hægt að hafa með straumbaujum, nema það sem teodolitar sáu, en mælingin varð fyrir þá hin erfiðasta, bæði sökum þess, að straumbaujurnar lögðust flatar og eins, að nokkur flögg týndust af þeim.

Straumbaujurekið er sýnt á mynd 6.1.

Allar baujurnar leita inn Arnarvog, undan vindi og flóðstraumi.

Grynnstu baujurnar ná mun meiri hraða en hinar, svo sem við mátti búast, eða um 25 sm/sek.

Af forathugun varð ljóst, að straumar á svæðinu voru tiltölulega hraðir og lausir við hringiður eða "dauða" punkta (stagnation points) innan mælisvæðisins. Einnig kom í ljós, að sá fjöldi straumbauja, er notaður var, 12, var hámark miðað við aðstæður, og æskilegt væri af mælitæknilegum ástæðum að fækka þeim.

Með hliðsjón af framangreindri reynslu var áætlun aðalmælingar breytt lítilsháttar, sem síðar greinir.

Hafrannsókn varð ekki framkvæmd 6.6. vegna hvassviðrisins, en var í stað þess framkvæmd strax daginn eftir. Fylgir skýrsla Unnsteins Stefánssonar um niðurstöður hér með. Mestur munur á hitastigi reyndist tæpar 2 gráður, meðalhitastig um 9.5. Mesti seltumunur er $0,14^{\circ}/\text{oo}$, meðalselta um $34,37^{\circ}/\text{oo}$. Mesti eðlisþyngdarmunur er 0.00036 g/sm^3 , meðaleðlisþyngd um 1.02656 g/sm^3 . Breytingar þessar eru of litlar til þess að valda nokkrum breytingum á straumi. Niðurstöður Unnsteins eru eigi að síður athyglisverðar og verða gerðar að nánara umtalsefni síðar í þessari skýrslu.

7. FRAMKVÆMD AÐALMÆLINGAR

Veður var stillt um miðnætti 12.5., og var þá ákveðið, að framkvæmd aðalmælingar hæfist kl. 02, 13.6., og var hafist handa samkvæmt áætlun. Kl. 3 hvessti skyndilega af ASA, en ákveðið var að halda mælingu áfram meðan hægt væri, nema straummælingu í Bessastaðasundi, er framkvæmd var síðar.

Straumbaujumæling. Bátur var kominn í línu L með straumbaujurnar kl. 03, þær settar út og mæling hafin kl. 03²⁵. Baujur 1 og 2 strönduðu og voru dregnar á flot milli 4. og 5. sigtis. Milli 8. og 9. sigtis er bauja 2 losuð aftur. Milli 9. og 10. sigtis er bauja 1 dregin á flot.

Straumur hafði nú snúist. Baujur 6, 8, 9 og 10 hafði rekið í boga inn að dýpsta parti L, og voru allar nema 6 staddar þar á frekar litlu svæði. Var þá ákveðið að færa þær í línu milli Kársness og Shellbryggju og fylgjast með reki þeirra út. Bauju 5 hafði rekið eftir afbrigðilegri leið inn í víkina milli Eyrar og Bessastaðaness og var strönduð þar eftir sigti 11. Eftir sigti 12 strönduðu baujur 3 og 4 einnig Kársnessmegin á Bessastaðanesi. Bauja 7 hafði strandað strax eftir sigti 6, losnað aftur, en var endanlega strönduð eftir sigti 12.

Allar baujur voru nú fluttar, nema 1 og 2. Við 13. sigti voru 5, 8, 9 og 10 komnar af stað á nýjum stöðum, og eftir 14. sigti einnig bauja 7. 6 var ýtt á flot milli 13. og 14. sigtis, en ekki færð. 3 og 4 voru

færðar lítið eitt. Eftir sigti 14 var bauja 9 á leið í strand, og var hún því færð nær Kársnesi. Eftir sigti 16 var bauja 10 strönduð, og var hún færð inn í Fossvog.

Allarbaujur, nema 6, 8 og 10 voru nú á hraðri leið út af mælisvæðinu. Eftir sigti 20 var bauja 8 strönduð, en ekki hægt að koma henni á flot, sökum anna hjá mælibát. Eftir sigti 22 sást bauja 5 ekki lengur, en mælingu var haldið áfram til kl. 15⁵⁰, er allar baujur nema 6, 9 og 10 voru horfnar eða strandaðar.

Litarefnisljósmyndun. Skýjahæð var 1000 m, þegar ljósmyndun hófst, en lækkaði niður í 300 m, er mælingu lauk. Því var ekki unnt að taka allar myndir lóðrétt, eins og upphaflega var áætlað, en teknar voru lóðréttar myndir, er sýndu útbreiðslu blettsins og skámyndir til staðsetningar á honum. Litur var settur út kl. 04, hálf tíma á eftir áætlun. Fyrsta myndataka var kl. 4³⁰, þá kl. 5³⁰, síðan á hálf tíma fresti til kl. 8⁰⁰, næst kl. 10⁰⁰, 11⁰⁰ og 12⁰⁰, síðan á hálf tíma fresti unz ljósmyndun var hætt kl. 15⁰⁰, klukkustund fyrr en ráð var fyrir gert, vegna lágrar skýjahæðar.

Bletturinn breiddi hratt úr sér meðan straumur var mikill og streymdi með svipuðum hraða og baujurnar. Strax var ljóst, að hentugt væri að fylgjast með útbreiðslu litarins með sýnishornatöku, og var 1. sýnishorn tekið kl. 5¹⁵ og merkibelgur lagður í blettmiðju. Kl. 6¹⁵ var litur settur í blettmiðju, sýnishorn tekið kl. 6²⁰, aftur kl. 6⁵⁵ og síðasta sýnishorn kl. 8¹⁰. Nýr blettur var myndaður kl. 10⁴⁵ milli Shellbryggju og Kársness, sýnishorn tekið kl. 11⁰⁰ og kl. 12⁰⁵, litur settur út um leið, og ný sýnishorn tekin kl. 12¹⁰ og kl. 12³⁵. Litur settur út í síðasta sinn kl. 13²⁰ og sýnishorn tekin kl. 13³⁰ og kl. 14⁰⁰.

Staðsetning blettmiðju var mæld inn af mælibát kl. 5¹⁵, 6²⁰, 6⁵⁵, 11⁰⁰, 12¹⁰, 12³⁵, 13³⁰, og 14⁰⁰.

Eitt sýnishorn samanstóð af 5 flöskum með sjó úr lengsta þversniði blettsins. 1 og 5 úr röndum, 3 úr miðju, 2 og 4 úr fjórðungspunktunum. Í landi voru geymdar 4 flöskur með blöndum 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} og 10^{-7} , hlutfallið litur á móti sjó eftir vigt, merktar 4, 5, 6 og 7. Sýnishornið var borið saman við þennan mælikvarða, hver flaska um sig og niðurstöður skráðar, einnig ef sýnishorn voru tær, þegar blettur sást greini-

lega, en það þýðir þéttleiki sem næst 10^{-8} .

Straummæling. Sökum veðurs varð straummæling ekki framkvæmd 13.6., eins og áætlað var, og reyndist ekki unnt að ljúka henni fyrr en 22.6. - 23.6. Vindur var hægur af S 22.6., en snerist til A 23.6., og hélzt hægur A-vindur meðan á mælingu stóð.

Mæling hófst kl. 14, og lauk kl. 03³⁰. Mælt var 10 sinnum í vertikal A, 8 sinnum í vertikal B og C og 7 sinnum í vertikal D, sjá mynd 7.1. Var mælingum þessum dreift sem auðið var á mestu straumhraðana. Jafnframt var breyting sjávarhæðar við Eyri mæld.

Við mælingarnar var notaður sérstaklega útbúinn bátur til vatnamælinga, með mönnum, vönum straumhraðamælingum í fallvötnum.

8. ÚRVINNSLA

Bezta aðferðin til að fá nákvæma mynd af straumnum er að fókra tölvu á mæliniðurstöðum ásamt grunnlíkingum straumfræðinnar og randskilryðum staðarins. En þar sem straumar eru ekki sjálfstætt til athugunar, heldur útbreiðsla skólpsvatns sem afleiðing þeirra, verður að álíta svo dýra úrvinnslu ónauðsynlega.

Því er farin sú leið í úrvinnslunni að skipta straumnum í óstöðuga hluta á flóði og fjöru og stöðuga hluta þess á milli. Þannig kemur fram reikningslegt straumlíkan, sem að sjálfsögðu er ekki fyllilega nákvæmt, hvað straumhraða á einstökum tímum snertir, en útbreiðsla skólpsins verður nægilega lík raunveruleikanum, til að unnt sé að draga gildar ályktanir af straumlíkaninu.

Straummæling. Meðalhraði í vertikölum A, B, C og D er sýndur á myndum 8.01; 8.02; 8.03 og 8.04 og meðalhraði sniðsins á mynd 8.05. Vatnsmagn, sem streymir gegnum Bessastaðasund og sundið milli Skildinganess og skerja - hér nefnt Skerjasund - er sýnt á mynd 8.06. Vatnsmagn í Skerjasundi er fengið þannig, að reiknað er út flóðprismað og vatnsmagn í Bessastaðasundi dregið frá.

Af samfellulíkingu straumsins má sjá, að meðalstraumhraðinn er

í beinu hlutfalli við meðalflóðhraðann, sem er skilgreindur sem hækkun vatnsborðsins á tímaeiningu. Því er interpolerað á milli mælipunkta samkvæmt flóðhraðanum. Mælingar, gerðar á staðnum samtímis straummælingu, féllu nákvæmlega saman við síritaniðurstöður Sjó-mælinga Íslands, svo að það línurit er notað.

Á mynd 8.07 er reikningslegt straumlíkan sýnt gildandi fyrir 22.6. Út frá þessu líkani er straumlíkan fyrir 13.6. reiknað með því að margfalda með flóðhæðarmismunahlutfalli þessara daga, og fást þá tilsvareandi straumhraðar í Bessastaðasundi. Reikningslegt straumlíkan 13.6. er nú byggt upp af eftirfarandi forsendum (mynd 8.08) :

1. Jöfn tímalengd milli flóða, 12 t 25 mín
2. Hæðarmunur á flóði og fjöru jafn, 2.4 m
3. Flóðstraumur í Bessastaðasundi í 2 t 57 mín., 27 sm/sek
4. Fjörustraumur 19 sm/sek í 3 t 18 mín., straumur breytilegur þess á milli

12 t 25 mín. er nákvæmlega flóðtímamunurinn eins og hann kemur fram á mælum, breytilegur um fáeinar mínútur. 2.4 m er flóðhæðarmismunurinn 13.6., og einnig mjög nálægt meðalflóðhæðarmismun í Reykjavík.

Straumhraðar í straumlíkani eru aðeins nálgun á raunveruleikanum, en frá mældum meðalstraumhraða á mynd 8.08 fæst, að nálgunin er nákvæm í 5 t 30 mín., alltaf innan við 30% frá réttum straumhraða, og innan við 10% frá réttum hraða í 9 t eða 75% af tímanum. Nálgunin verður því að teljast nægileg til að gefa straummyndina með þeirri nákvæmni, er þörf er fyrir.

Straumbaujumæling. Niðurstöður straumbaujumælinga eru sýndar á myndum 8.09 og 8.10. Fyrir skýrleiks sakir er flóðtímabil á sér mynd og fjörutímabil á sér mynd.

Samkvæmt straumlíkani skiptist sjávarfallastraumur í 4 tímabil, sem miðað við 13.6. verða þannig :

1.	02 ⁴⁸ - 05 ⁰⁹	breytilegur straumur	sigti	1 - 4
2.	05 ⁰⁹ - 07 ³⁶	flóðstraumur	"	4 - 10
3.	07 ³⁶ - 11 ²⁴	breytilegur straumur	"	10 - 17
4.	11 ²⁴ - 15 ²⁴	fjörustraumur	"	17 - 25

Mælda straumhraða er að finna í töflu 8.1. Þeir eru að sjálfsögðu bæði fyrir áhrif sjávarfalla og vinds, en straumlíkan nær eingöngu til sjávarfalla, og með aðstoð þess er unnt að gera sér grein fyrir sjávarfallastraumum sérstaklega.

Tímasetning á sigtum miðast við bauju 5, og skakkar þá hvergi nema 11 mín. á öðrum sigtum með sama númeri. Sigti 4, 10 og 17 verða samkvæmt tímabilaskiptingunni skiptipunktur, og við þessi sigti sýnir mælingin einnig breytingu á hegðun straumbaujanna.

Á tímabili sigta 1 - 4 er straumur lítil en vaxandi. Í sigti 4 nær flóðstraumurinn yfirhöndinni og baujurnar beygja, og er aðalbreytingin á hegðun baujanna í sigti 4 þessi stefnubreyting. 2, 3, 4 og 6 snúa við og streyma á móti vindi með auknum hraða. 8, 9 og 10 beygja rétt af leið. 1 hrekur að landi, en 7 nær tvöföldum hraða á við nærliggjandi baujur, og strandar á skerinu eftir sigti 4. Þetta eru 2 grynstu baujurnar, og því mest háðar vindinum. Bauja 5 lendir í lygnu frá skerinu og streymir í boga yfir djúpa álinn inn af Bessa-staðasundi. Sýnir ferð hennar, að vindurinn nær að knýja yfirborðsstraum á þessu svæði með annarri stefnu en innstrauminn við botninn.

Um sigti 10 hægja baujurnar á sér og breyta um stefnu, er vindurinn nær aftur yfirhöndinni á ferðalagi þeirra. Ljóst er þó af bauju 6, að innstraumur heldur áfram enn um sinn, en vindur knýr strauminn æ meira út, baujurnar berast í boga og eru komnar á endanlega stefnu í sigti 15 á leið út.

Eftir sigti 17 verða engar stefnu- eða hraðabreytingar á ferli baujanna, aðrar en smábreytingar vegna legu botnsins. Straumur er reglulegur og jafn í samræmi við forsendur straumlíkans.

Í samræmi við mæliniðurstöður er hægt að skilgreina strauminn á 4 tímabilum innan hvernar flóðhringrásar sem hér segir :

1. Fjara

Tími : Frá u.þ.b. 1 t fyrir til $1\frac{1}{2}$ t eftir háfjöru.

Einkenni : Fallstraumar ganga í aðalatriðum fram og til baka og eru hægir. Vindur ræður því mestu um, hvert straumurinn fellur.

2. Flóðstraumur

Tími : Frá u.þ.b. $1\frac{1}{2}$ t eftir háfjöru til $2\frac{1}{2}$ t fyrir háflóð.

Einkenni : Jafn innstraumur, sem vindur hefur lítil áhrif á í aðalatriðum. Nær þó að knýja yfirborðsstraum eða valda breytingum á vissum afmörkuðum svæðum.

3. Flóð

Tími : Frá u.þ.b. $2\frac{1}{2}$ t fyrir til $1\frac{1}{2}$ t eftir háflóð.

Einkenni : Fallstraumar ganga í aðalatriðum fram og til baka og eru hægir. Vindur ræður því mestu um, hvert straumurinn fellur.

4. Fjörustraumur

Tími : Frá u.þ.b. $1\frac{1}{2}$ t eftir háflóð til 1 t fyrir háfjöru.

Einkenni : Jafn útstraumur, er vindur hefur lítil áhrif á í aðalatriðum. Nær þó að breyta dreifingu straumsins yfir útstraumspversniðið.

6 t og 21 mín eru frá háfjöru til háflóðs, og 6 t 04 mín eru frá háflóði til háfjöru.

Unnt er nú að reikna sjávarfallastrauma í straumleiðinni frá mæli-
svæðinu til hafs, Skerjasundi og Bessastaðasundi, á hverju hinna 4
tímabila. Innstraumur reiknast pósitífur, útstraumur negatífur.

Tímabil	Skerjasund	Bessastaðasund	Straumur
1. Fjara	+13- + 12 sm/sek	+ 19- + 27 sm/sek	Línul. breytilegur
2. Flóðstraumur	+ 12 sm/sek	+ 27 sm/sek	Stöðugur
3. Flóð	+12- + 13 sm/sek	+ 27- + 19 sm/sek	Línul. breytilegur
4. Fjörustraumur	+ 13 sm/sek	+ 19 sm/sek	Stöðugur

Straumar þessir flytja allt vatn inn á svæðið, að óverulegu fersk- og skólþvatnsaðstreymi undanteknu. Í samræmi við þennan innstraum verða því aðrir straumar á svæðinu að haga sér, eins og ljóslega kemur fram í straumbaujumælingu. Er því ljóst, að aðalfærsla vatnsmagns fer fram á tímabilum 2 og 4, þar sem straumur gengur fram og til baka, eða í boga á tímabilum 1 og 3. Aðalfærsla skólþvatns innan svæðisins á sér því stað á umræddum tímabilum flóðstraums og fjörustraums.

Unnt er að teikna straumlínukort fyrir þessi tímabil með stöðugum straumi, og er það gert hér til glöggvunar. Á myndum 8.11; 8.12; 8.13 og 8.14 eru straumlínukort fyrir flóðstraum 13.6., fjörustraum 13.6., flóðstraum í logni og fjörustraum í logni. Tvö hin síðastnefndu eru reiknuð út frá hinum fyrri, sem gilda fyrir vind u.þ.b. 5 m/sek af ASA. Samkvæmt vindstatistik frá Reykjavíkflugvelli 1950-1959 er vindur minni en 2 m/sek 22% af athugunum, vindur frá 100-140° er 18% af athugunum. Því eru þessi straumlínukort til samans gild fyrir 30-40% af árstímanum.

Samkvæmt því sem áður segir hefur vindur lítil áhrif á heildarstraummyndina, svo að straumlínukortin eru gild í aðalatriðum, nema þegar rok er svo mikið, að yfirborðsstraumar bera mikinn hluta vatnsmagnsins.

Flóðstraumur 13.6.

Reiknað er út frá straumbaujufærslum sigti 4-10, ásamt straumhröðum í sundum. Töluvert meira vatnsmagn kemur inn Bessastaðasund og leitar inn í Arnarvog. Baujur 2, 3 og 4 gefa straumhraða 11 og 12 sm/sek í línu L Bessastaðamegin, 12 og 16 sm/sek í mynni Arnarvogs. Inn af Skerjasundi fæst 6 sm/sek meðalhraði, sem gefur síðan 12 og 11 sm/sek hraða í línu L. Straumurinn fyllir ekki þversniðið L. Frá straumhraða 6 til 12 sm/sek verður nær 90° stefnubreyting. Hér myndast því straumlaust svæði, sem merkt er á kortið. Með því er ekki átt við, að straumhraðar séu 0 alls staðar á svæðinu, heldur, að vatn innan þess fylgir ekki innstraumum. Má búast við hægum óreglulegum hringstraumum innan svæðisins og lítilli blöndun við innstrauminn.

Milli straumanna gegnum Bessastaðasund og Skerjasund liggja straumskipti, merkt með skástrikum á kortinu. Ekki er unnt að gera fulla grein fyrir straumi á þessu svæði, en þar sem straumar eru jafnstærkir með sömu stefnu sitt hvoru megin straumskilanna, er straumurinn innan þeirra að sjálfsögðu sá sami.

Í álnum innan Bessastaðasunds er straumur hægur, svo að vindurinn nær að beygja strauminn í efstu vatnslögunum af leið, eins og ferðalag bauju nr. 5 sýnir. Þessi straumur er í fyrstu um 6 sm/sek (sá sami og inn af Skerjasundi), og vex upp í 12 sm/sek, er dýpkar. Síðan streymir bauja 5 undan vindi í víkinni inn af Eyri. Hér er því straumlaust svæði, svipað og innan Skildinganes. Vatn innan svæðisins tekur ekki þátt í innstreyminu, en blöndun við umhverfið er meiri, þar sem á þessu svæði er hringstraumur um lóðréttan ás ríkjandi. Yfirborðsstraumurinn er merktur á kortið með heildreginni línu, einnig sýnir strikálína yfirborðsstraum, sem sennilegt er að sé til staðar (nr. 9 og 10, sigti 8-9 og 9-10, einnig rek nr. 1-2 upp að Bessastaðanesi í upphafi mælingar), en engin bauja lendir í.

Athyglisvert er, að allt vatn, sem streymir inn í Fossvog, kemur gegnum Skerjasund, en ekki gegnum Bessastaðasund. Aftur á móti streymir talsvert af því vatni, sem kemur inn um Skerjasund, til Arnarvogs.

Fjörustraumur 13.6.

Reiknað er út frá straumbaujufærslum eftir sigti 17. Á dýpsta hluta línu L fæst hraði 14 sm/sek, en upp við Bessastaðanes fæst 21 sm/sek, sem stafar af því, að vindurinn blæs vatnsborðinu lítillega upp á Bessastaðanes austanvert, og af svipuðum orsökum mælist hraðinn 23 sm/sek í Bessastaðasundi, norðanmegin, þar blæs vindurinn vatnsborðinu upp á skerið.

Eins og fram kemur af ferðalagi baujanna 1 og 2 yfir feril 6, gengur yfirborðsstraumur, knúinn af auknu vatnsmagni í Skerjasundi, yfir straumaskilin og út Skerjasund. Yfirborðsstraumurinn er merktur á kortið, og sökum tilveru hans færast straumaskilin nær Skildinganesi.

Með $\lambda = 4.0 \cdot 10^{-3}$ gefur líking (28) í viðauka $m_0 = 1.01$.

Af því sést, að það er aðallega vindurinn, sem knýr strauminn, og

vatnsborðshalli er lítill sem enginn. Straumhraði er því svipaður í öllu þversniðinu. Áhrif vindsins eru því í aðalatriðum þau, að straumur í Skerjasundi er nokkru meiri, og í Bessastaðasundi nokkru minni en annars hefði orðið. Mismunurinn er yfirborðsstraumurinn.

Straumur meðfram Skildinganesi er mjög hægur, 9 - 10 sm/sek. Frá línu L er straumhraði síðan vaxandi í átt til sundanna.

Flóðstraumur, logn. Fjörustraumur, logn

Straumlíukortin fyrir logn eru ekki jafn nákvæm, þar sem engin mæling af ótrufluðu ástandi liggur fyrir. Á kortunum kemur fram, að straumur inn í Fossvog gengur meðfram landinu og er mjög hægur, en nákvæman hraða hans er ekki hægt að finna. Eins kemur fram, að straumaskil liggja nær Bessastaðanesi fyrir fjörustraum og fer meira vatn út um Skerjasund en kom inn.

Litarefnisljósmyndun

Svo sem áður er sagt voru skilyrði til ljósmyndunar slæm vegna lágrar skýjahæðar og fóru versnandi meðan á mælingu stóð. Er mælingu var lokið kom einnig í ljós, að önnur myndavélin hafði staðið á sér, og nokkrar svart-hvítar myndir eyðilagzt. Einnig hafði negatíf litfilma verið notuð í stað pósitífrar. Staðsetning á blettinum reyndist því mjög erfið og nákvæmni léleg, en með aðstoð sekstantmælinga á blettmiðju tókst að staðsetja blettinn á öllum tímum nema kl. 14 og 15³⁰. Mögulegt er, að vinna nákvæmar úr myndunum með því að stækka þær.

Í ljós kemur, að bletturinn streymir hægt inn frá 5³⁰ til 8⁰⁰. Hreyfist ekki frá 8⁰⁰-9⁰⁰. Streymir út með jöfnum hraða 9⁰⁰-11⁰⁰.

Nýi bletturinn, settur út kl. 10⁴⁵, streymir með vaxandi hraða út. Milli 11⁰⁰ og 13³⁰ er hraðinn 12 sm/sek, en frá 13³⁰ til 15⁰⁰ er hraðinn 18 sm/sek.

Litarefni var bætt í blettinn, þegar hann var farinn að dofna. Sá blettur, sem merktur er á myndir 8.15; 8.16 og 8.17, er skýrasti hluti hans, þ.e.a.s. litarefni sýnilega frá síðustu útlagningu er tekið með, en "gamla" blettinum sleppt. Blettstærðir og litarstyrkleikar

verða því sem hér segir :

Heimild	Kl.	Litarstyrkur	Blettstærð	Litur alls
	04 ⁰⁰	-	-	1 kg
Mæling	05 ¹⁵	< 7, < 7, < 7, < 7, < 7	-	" "
Mynd	05 ³⁰	-	22500 m ²	" "
"	06 ⁰⁰	-	22500 "	" "
	06 ¹⁵	-	-	2 "
Mæling	06 ²⁰	7, 6, 5, 6, < 7	-	" "
Mynd	06 ³⁰	-	4500 "	" "
Mæling	06 ⁵⁵	< 7, < 7, < 7, < 7, < 7	-	" "
Mynd	07 ⁰⁰	-	6750 "	" "
"	07 ³⁰	-	11250 "	" "
"	08 ⁰⁰	-	9000 "	" "
Mæling	08 ¹⁰	Tært	-	" "
Mynd	09 ⁰⁰	-	9000 "	" "
"	10 ⁰⁰	-	9000 "	" "
"	11 ⁰⁰	-	(20250)"	" "

Mynd kl. 11⁰⁰ var mjög óskýr og stærð þess vegna óörugg.

	10 ⁴⁵			1 kg
Mæl., mynd	11 ⁰⁰	7, 7, 6, 6-7, 6-7	4500 m ²	" "
Mynd	12 ⁰⁰	-	4500 "	" "
Mæling	12 ⁰⁵	Tært	-	" "
	12 ⁰⁵	-	-	2 "
Mæling	12 ¹⁰	6-7, 6, 7, 6, 7	-	" "
"	12 ³⁵	7, < 7, 7, 7, < 7	-	" "
"	12 ⁵⁰	Blettur nær horfinn	-	" "
	13 ²⁰	-	-	3 "
Mæl., mynd	13 ³⁰	6-7, 7, 6, 5, 6-7	4500 "	" "
Mæling	14 ⁰⁰	< 7, 7, 6-7, 7, < 7	-	" "
Mynd	14 ³⁰	-	(13500)"	" "
"	15 ⁰⁰	-	(18000)"	" "

Síðustu tvær myndirnar voru mjög óskýrar.

Með litarstyrk er átt við negatífan lógaritma af þéttleikanum, litarstyrkur 7 er þannig þéttleiki 10^{-7} . "Tært" tákna, að ekki er sjáanlegur litur á sýnishorninu. Af lit var ætíð sett út 1 kg í senn, eins og kemur fram í dálki: Litur alls.

Sem heildarniðurstaða fæst, að liturinn blandast mjög hratt í fyrstu. Mæling 12¹⁰, 5 mín. eftir að litur er settur út, gefur 6 mesta styrk. Kl. 13²⁰ er litur settur út, og mæling 10 mín. seinna gefur mesta styrk 5, eins kl. 6²⁰, 5 mín. eftir að litur er settur út. Eftir að styrk 5-6 er náð minnkar styrkurinn hægar. 30-40 mín. eftir að litur er settur út, fæst styrkur 7 kl. 12³⁵ og 6-7 kl. 14⁰⁰. Þegar lengra er liðið en klukkutími, er liturinn að jafnaði hættur að sjást á sýnishornum, en bletturinn sést yfirleitt mun lengur.

Hin hraða blöndun í byrjun mun eiga sér stað meðan liturinn er að ná botni. Eftir það blandast hann hægar.

Bletturinn breiðir mest úr sér eftir straumstefnunni, en þó aldrei meir en svo, að lengd verður mest 3 sinnum stærri en breidd.

Á flóðstraumstímabilinu 05 - 08 nær bletturinn mestri stærð 05³⁰ - 6⁰⁰, 22500 m², en eftir að lit er bætt í, nær hann ekki meira en 11 250 m² stærð og minnkar lítið eitt niður í 9000 m², en breytir ekki stærð aftur fyrr en milli 10⁰⁰ og 11⁰⁰, að hann stækkar og dofna mjög. Sýnir þetta, að á tímabilinu 8⁰⁰ - 10⁰⁰ er blöndun lítil. Straumskipti eru kl. 10⁰⁶, en vindurinn á móti straumnum færir straumskipti fram um klukkutíma á þeim stað, sem bletturinn er kl. 09⁰⁰. Milli 10⁰⁰ og 11⁰⁰ breiðir svo bletturinn úr sér, bæði vegna aukinnar blöndunar og minnkandi dýpis.

Á fjörustraumstímabilinu fylgist bletturinn með straumnum. 3 kg af litarefni eru sett út í heild, með jöfnu millibili. Bletturinn er hér mun greinilegri en á öðrum myndum, enda mun minni, en sjá má á myndunum skugga, sem með stækkun mætti e. t. v. þekkja sem gamla blettinn. Eftirtektarverðust er samt sú niðurstaða, að hér hefur liturinn blandast nokkurn veginn jafnhratt og hann er settur út. Reikningar sýna, að diffusionsstuðullinn (sjá viðauka) er af sömu stærðargráðu og gera má ráð fyrir samkvæmt straumhraða. Ljóst er því, að eðlileg blöndun helzt, þrátt fyrir vissar hraðaaukningar og minnkun á straumþversniði.

9. NIÐURSTÖÐUR

Af gagnasöfnun og mælingum finnast niðurstöður varðandi einstök atriði, sem hér greinir.

Mengun hefur verið athuguð meira eða minna síðan '65, í fyrstu fáir punktar, en frá '66 10 punktar, og þá var byrjað að athuga líklegasta fjölda gerlanna. Þær sýnishornatökur er best verða bornar saman, frá júní '66 og '67, sýna svipaðan heildarfjölda gerla í öllum sýnishornum til samans og mikla hreyfingu á gerlafjöldanum í einstökum punktum. Sýnishorn ágúst '67 sýna lítið eitt minni heildarfjölda gerla og einnig mikla hreyfingu á einstökum punktum. Meðaltal þessara þriggja mælinga er MPN = 417 í punkti.

Niðurstöður sýna, að nær öll 10 ml sýnishorn tekin innan mælisvæðisins eru menguð kóligerlum af sauruppruna. Eina verulega undantekningin eru sýnishorn frá maí '67, en lítil vafi er á, að sökum hins kalda vors hefur vetrarástand þá enn verið ríkjandi í sjónum, enda meðalhiti maí, einkum 3 fyrstu viknanna, undir meðallagi. Það virðist því svo, að á baðtíma sé allur sjór innan mælisvæðisins mengaður, Nauthólsvík ekki undanskilin.

Skólpmagn í Fossvogsræsi er mjög mikið. Reikna má með, að það sé, eða verði mjög fljótlega, 14.000 m³ á sólarhring eða um 160 l/sek, og vaxi upp í 52.000 m³ á sólarhring eða um 600 l/sek á næstu 10 árum. Mengunargeta skólpsins er ekki þekkt.

Straumar innan svæðisins eru síbreytilegir, en með tilliti til útbreiðslu skólpsins, er þeim nægilega lýst með straumlíkani, þar sem flóðstraumur og fjörustraumur eru stöðugir, en straumur línulega breytilegur með tíma þess á milli. Innstraumur og útstraumur eru um 25 mill.m³ á flóðtímabili að meðaltali. Þar af fara 61% inn Bessastaðasund, en 39% inn Skerjasund með flóðstraumi, en 48% út Bessastaðasund og 52% út Skerjasund með fjörustraumi. Þannig streymir 13% af heildarvatnsmagninu, eða 3.3 mill.m³ inn Bessastaðasund, en út Skerjasund að meðaltali.

Af straumlínukortum má sjá, að fallstraumar eru litlir í mynni Fossvogs, eins og eðlilegt er í breiðum, stuttum vogi. Einnig er ljóst af

straumlínukortum, að vatn það, er leitar inn í Fossvog á flóði, kemur aðallega meðfram Skildinganesi. Stafar þetta af legu Fossvogs, og smæð hans í hlutfalli við vatnasvæðið í kring.

Vindar hafa töluverð áhrif á dreifingu straumsins yfir straumþversniðið, strax og vindur er orðinn 5 m/sek (3 vindstig) eða meir. Vindur hefur því úrslitaáhrif á straumstefnur og hraða á hinum grynri svæðum, og á þetta einkum við um svæðið frá Fossvogsbotni að Skildinganesi, sem allt er fremur grunnt. Á dýpri svæðum eru áhrif vindsins bundin yfirborðinu, eins og yfirborðsstraumar þeir, er fram koma í mælingu, sýna.

Vatnsskipti svæðisins eru aðallega fólgin í því, að meira vatn kemur inn Bessastaðasund en fer út sömu leið. Eftirtektarvert er, að með hafrannsókn sinni áður en mæling fer fram, kemst Unnsteinn Stefáns-son að þeirri niðurstöðu, að vatn berist inn í Arnarvog gegnum Bessa- staðasund og út Skildinganessmegin. Þegar Unnsteinn framkvæmir mælingar sínar, er háfjara, svo samkvæmt straumlíkani er 1/4 af vatni við Skildinganes komið þessa leið, og ljóst er, að hér er ríkjandi þáttur í hegðun fallstrauma, er kemur fram í straumlíkani.

Vindar hafa lítil áhrif á þessi vatnsskipti, þegar á heildina er litið. Aust- og suðaustlægir vindar auka þau heldur, og norð- og norðvest- lægir vindar minnka þau. Þeir fyrrnefndu eru algengari, en áhrif þeirra samanlagt má líta á sem lítil.

Vatnsskiptin tryggja, að hreint vatn berst inn á svæðið, svo framarlega sem það fyrirfinnst utan þess. Ekki er unnt að fullyrða, að allt vatn sé ómengað utan Álftaness og Skildinganess. Miklar líkur eru á mengun milli Skildinganess og Gróttu vegna þeirra skólplagna, er þar finnast.

Útbreiðsla mengunar fer þannig fram samkvæmt straumlíkani, að flóð- straumur og fjörustraumur taka í sig mengun og flytja hana milli svæða, og blandast hún síðan því vatni, sem fyrir er á tímabilunum á milli þeirra. Af straumlínukortum má sjá, hvaða leið mengun berst, ef staðsetning útlagnar er þekkt. Vindur getur einnig borið mengun um með yfirborðsstraumum, ef skólpmatn nær að safnast á yfirborðið, en eiginleikar skólpsins eru ekki nógu vel þekktir til að kveða á um, hvort það getur stigið upp á yfirborð. En búast má við, að skólpið geri það, ef straumlítið er við útlögnina.

Svo virðist, að mengun í Fossvogi stafi beinlínis af þeim útlögnum, sem eru staðsettar inni í voginum, en óbeint af Fossvogsræsi. Útlagnir staðsettar í Fossvogi menga vögin, en Fossvogsræsi hindrar, að hreint vatn berist inn í hann, þar eð flóðstraumsgreinin inn í Fossvog liggur framhjá því. Þ.e.a.s., það mengaða vatn, sem fjörustraumur ber frá Fossvogi í stefnu út Skerjasund, blandast ekki hreinu vatni á leið sinni né á tímabilinu milli fjöru- og flóðstraums, heldur vatni menguðu af Fossvogsræsi.

Mengun annars staðar á mælisvæðinu stafar frá Fossvogsræsi aðallega. Flóðstraumur ber mengunina inn Arnarvog, þar sem hún blandast og leitar síðan út Bessastaðasund og Skerjasund, eins og ljóst er af straumlínukortum, þar eð straumaskil ná ætíð inn í Arnarvog. Að sjálfsögðu valda útlagnir staðsettar í Arnarvogi og vogum inn af honum einnig aukinni mengun á mælisvæðinu.

Hreinsun mælisvæðisins, - en með því er átt við straum mengunar frá mælisvæðinu til sjávar -, fer fram á tvennan hátt.

Í fyrsta lagi, af því vatnsmagni, sem streymir út, koma aðeins 87% til baka, en 13% eru nýtt vatn, væntanlega ómengað að nær öllu leyti. Í öðru lagi, það vatn, sem kemur til baka, hefur blandast og inniheldur þar af leiðandi minni mengunarþéttleika en áður. Allt vatnsmagnið, sem um er að ræða, er um 25 millj.m³ á flóðtímabili að meðaltali, sem samsvarar 48 millj.m³ á sólarhring. Þetta leiðir í ljós, að meðalmengunarþéttleiki getur aldrei orðið minni en rúmlega 1^o/oo, fræðilega séð, vegna Fossvogsræsis. Eins eftir að það er fullnýtt. Hinn raunverulegi mengunarþéttleiki verður mun hærri, en sé reiknað með, að 13% af flóðstraumnum séu ómengað vatn, eru efri mörk mengunar 8.3^o/oo að meðaltali. Líklegasti fjöldi kólígerla af sauruppruna í 100 ml af vatni menguðu með 1^o/oo af skólpi, er ekki þekktur.

10. ÁLYKTANIR AF NIÐURSTÖÐUM

Aðastæður eru erfiðar til að koma frárennsli frá Skildinganesi, án þess að hreinsun Fossvogs sé hindruð. Einnig verður skólpmagn það, sem veitt er til sjávar á mælisvæðinu, eða í voga innan þess, svo mikið, að mengun á mælisvæðinu kemst ekki niður fyrir 2-5^o/oo, enda þótt bezta möguleg hreinsun verði tryggð með hagkvæmri staðsetningu á öllum útlögnum.

Bezta möguleg hreinsun verður aðeins tryggð með því, að fjörustraumur innihaldi sem jafnasta mengun, og hreint vatn sé fyrir hendi á þeim stað, sem hann leitar til. Telja má, að hreint vatn sé fyrir hendi út af Álftanesi, en vafasamt er, hvort svo muni vera um svæðið innan skerja, milli Skerjasunds og Gróttu.

Útlögn Fossvogsræsis verður að staðsetja endanlega þannig, að mest hreinsun verði tryggð, sökum hins mikla skólpmagns í leiðslunni. Verður þá að athuga, að leyfileg mengun er lægri í Fossvogi, sökum sjóbaðstaðarins en annars staðar á mælisvæðinu.

Álykta verður því, að einungis tvær staðsetningar komi til greina sem endanlegar staðsetningar á útlögn Fossvogsræsis, Bessastaðasund eða Skerjasund. Með því að staðsetja útlögnina í Skerjasundi, verður mengun í Fossvogi heldur meiri, þar eð hreinsun Fossvogs er að einhverju leyti hindruð. Með staðsetningu í Bessastaðasundi berst skólp lengra inn í Arnarvog sökum meiri flóðstraums þeim megin.

Þar sem hér er um dýrar framkvæmdir að ræða, og skólpmagn í Fossvogsræsi langt frá hámarki, verður að álykta, að æskilegt sé, að framkvæmdir fari fram í áföngum jafnhliða aukningu skólpmagnsins. Slíkar framkvæmdir verða að byggjast á, að mengun á mælisvæðinu sé haldið neðan við ákveðið hámark, en reglur liggja ekki fyrir um slíkt. Við ákvörðun á framkvæmdum verður einnig að hafa hugfast, að ekki er unnt að reikna með minni mengun en $2^0/00$, þegar útlögn frá Fossvogsræsi í fullri notkun hefur verið staðsett á mælisvæðinu.

Því verður að álykta, að vitneskja um mengunargetu skólpsins sé nauðsynlegur grundvöllur framkvæmdaákvæðana. Rannsaka þarf, hver sé líklegasti fjöldi kólígerla af sauruppruna í 100 ml af mismunandi þynningum skólpmatns. Heppilegast er, að sýnishorn séu tekin úr Fossvogsræsi sem næst núverandi útlögn, og hitastig og eðlisþyngd mæld jafnhliða gerlarannsókninni. Við rannsóknina ber að forðast, að kólígerlar í sýnishornunum geti tímgast við önnur skilyrði en fyrir hendi eru, þegar skólpið blandast sjó, og er nauðsynlegt að hafa samráð við gerlafræðing um þetta atriði.

Er niðurstöður þessarar rannsóknar liggja fyrir, og reglur um hámarksmengun liggja fyrir, er mögulegt á grundvelli straumrannsóknar-

innar að hanna framkvæmdaáætlun um breytingu á útlögn Fossvogsræsis, þar sem gert er ráð fyrir, að mengun sé haldið innan við hið ákveðna hámark. Er Straumfræðistöðin reiðubúin að aðstoða við það verk í þeim mæli, er gatnamálastjóri óskar.

Viðauki.

U m t ú r b ú l e n s.

Túrbúlentstraumur er náttúrufrýrbrigði, sem hinni stærðfræðilegu eðlisfræði hefur ekki tekizt að finna lögmál yfir. Orsökina er óstöðugleiki (túrbúlent fluktuationir) í straumnum, sem lýsa sér í því að hann verður síbreytilegur um ákveðið meðaltal. Venjuleg meðhöndlun er að skipta straumnum í breytilegann hluta plús meðalstraum.

$$(1) \quad U = \bar{U} + u$$

og þegar skrifað er um túrbúlentstraum er átt við meðalstrauminn \bar{U} nema annað sé tekið fram. Þessi skipting hefur þann kost, að \bar{U} er þægilegur í meðförum en þann ókost að þegar straumnum er skipt í tvennt verða einum fleiri óþekktir en líkingar, þar sem ekki hefur tekizt að sýna fram á neitt haldgott samband milli \bar{U} og u .

Af túrbúlensrannsóknarmönnum hafa mestum árangri náð Prandtl og von Kármán. Prandtl sýndi fram á þýðingu blöndunar fyrir straumprófilinn og innfærði blöndunarlengdina l . Enda þótt Prandtl innfærði ýmsar grófar nálganir í líkingar sínar er nákvæmni útkomunnar undraverð. Prandtl fann fyrir kanalstraum hraða-prófilinn.

$$(2) \quad U = 1/\kappa \cdot U_* \cdot \ln 30 y/k$$

- κ = von Kármáns universalkonstant = 0.4
- U_* = friktionskraðiinn = $\sqrt{\tau_0/\rho}$
- y = fjarlægð frá botni
- τ_0 = skerspenna við botn
- ρ = eðlismassi vökvans
- k = hrjúfleiði botnsins

sem gildir fyrir fullmyndaðann túrbúlens. Prandtl sýndi þar með fram á, að straumurinn einkennist af friktionshraðanum og hrjúfleikanum k , sem er sú stærð korna, sem sé límd á vegginn gefur sama hrjúfleika og botninn. Þessi hrjúfleiki hefur notið vinsælda sökum hve auðveldlega hann tengist líkingunum, en hinn sami eiginleiki gerir að erfitt er að ákveða hrjúfleikann og nær ómögulegt að finna samband hans við einföldustu botnójöfnur, fyrir mjög þéttar ójöfnur má þó setja $k = 5$ sinnum ójöfnuhæðin.

Upprunaleg líking Prandtls er

$$(3) U_*^2 = l^2 \cdot |dU/dy| \cdot dU/dy$$

sem fyrir kanalstraum gefur $dU/dy = U*/l$

sem verður þá skilgreiningarlíking fyrir l , frá (3) og athugunum á tregðujafnvægi straumsins fæst skilgreiningarlíking fyrir diffusionsstuðulinn ϵ

$$(4) U_*^2 = \epsilon \cdot dU/dy$$

diffusionsstuðullinn hefur úrslita þýðingu fyrir blöndun innan hins streymandi vökva, hita- og sedimenttransport etc.

Reikningar verða einfaldir en mjög viðtækir þar sem koncentrationin

C í hinu einfaldasta tilfalli (breið jafndjúp renna) verður breytileg í tíma og rúmi með ϵ sem er breytilegt í rúmi. Þar sem sjaldnast er þörf á nákvæmum niðurstöðum er oftast reiknað með

$$(5) \epsilon = \bar{\epsilon} = 0.07 \cdot U_* \cdot D$$

$$U = \bar{U}$$

Blöndun (Diffusion)

Í koordinatkerfi, sem hreyfist með \bar{U} lítur blöndunarlíkingin því þannig út,

$$H = + \epsilon \text{ grad } C$$

H = efnisstraumurinn í stefnu gradientsins

C = efniskoncentration

x er koordinat.

$$dC/dt = \text{div } H = \div \partial C / \partial t + U \cdot \partial C / \partial x_1 = \div U \cdot \partial C / \partial x_1$$

í föstu koordinatkerfi,

þar sem prósessinn er konstant í tíma, nú fæst

$$(6) \quad U \cdot dC / \partial x_1 = \varepsilon \text{div grad } C$$

sem hefur fyrir pípuútlögn lausnina

$$(7) \quad C(x_1, x_2, x_3) = \frac{S}{4\pi r \varepsilon} \exp(\div U(r - x_1) / 2\varepsilon)$$

S = magn í útlögn m^3/sek

r = fjarlægð frá útlögn = $\sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}$

Svo sem sjá má er koncentrationin eftir straumstefnunni
(X_1 ásnum)

$$C_0 = \frac{S}{4\pi x_1 \varepsilon}$$

Heildarkoncentration milli tveggja flata í meters fjarlægð, staðsettum þvert á X_1 ásinn

$$\begin{aligned} S_0 &= \int_0^\infty \int_0^\infty C \, dx_2 \, dx_3 = \int_0^\infty 2\pi r \, dr \, C(r) \\ &= S/U \exp(U \cdot x_1 / 2\varepsilon) \end{aligned}$$

er eins og sjá má vaxandi með X_1 , fyrir punkta nálægt x_1 ásnum gildir með fjarlægð frá ásnum = r_0

$$(8) \quad C = \frac{S}{4\pi \varepsilon x_1} \exp(\div \frac{U r_0^2}{4\varepsilon x_1})$$

með $C/C_0 = 1$ o/00 finnst

$$\exp(\div \frac{-U r_0^2}{4\varepsilon x_1}) = 10^{-3}$$

$$(9) \quad r_0/x_1 = \sqrt{\frac{28\varepsilon}{4x_1}} \approx \sqrt{\frac{D}{10x_1}}$$

sem gildir þegar

$$x_1 \gg D \cdot \frac{2U^*}{4}$$

P.e.a.s. strax í nokkurra metra fjarlægð frá útlögninni. Líking (8) er því gild allsstaðar þar sem líking fyrir C hefur nokkura þýðingu.

Sé um línuútlögn að ræða með magni S' m³/m sek gefur (6) í $X_1 X_2$ planinu.

$$(10) \quad G = \frac{S'}{2\pi\epsilon} Y_0 \left(\frac{U\sqrt{x_1^2 + x_2^2}}{2\epsilon} \right) \cdot \exp\left(\frac{Ux}{2\epsilon}\right)$$

Y_0 er Bessels funktion af gráðu 0, 2. gerð. í nokkra metra fjarlægð frá útlögninni eða þegar:

$X > D$ fæst:

$$(11) \quad G = \frac{S}{2\sqrt{\pi\epsilon Ux}} \cdot \exp(-Ux^2/4\epsilon x_1)$$

sem gildir á sama hátt og (8), hér fæst með $c/Co = 1$ o/oo

$$(12) \quad \frac{x_2}{x_1} = \sqrt{\frac{28\epsilon}{4x_1}} \approx \sqrt{\frac{D}{10x_1}}$$

(9) og (12) eru analog 1 r_0 og x_2

Hér hefur verið fjallað um blöndun í endanlegu plani eða rúmi (vegna symmetriú má nota (8) á hálfóendanlegt rúm með því einu að nota S sem tvöfaldann raunverulegann styrkleika). Sést að útbreiðslan er í eðli sínu eins, hvort sem um punkt-eða línuútlögn er að ræða. Því verður útbreiðsla skólps eins þó skólpið sé heitara en sjórinn og stigi upp á yfirborð, svo lengi sem eðlisþyngdarmunurinn nær ekki að lyfta skólpinu með hraða af stærðargráðu U , en þó getur skólpið lagst ofaná yfirborðið, og þar er $\epsilon = 0$ og blöndun því lítil þó því sé gefið endanlegt gildi í þessum reikningum.

Af líkingum (9) og (12) sést hvaða þýðingu dýpið hefur fyrir útbreiðsluna. Blöndunarhraðinn vex í réttu hlutfalli við D .

Straumur með yfirborðsspennu.

Túrbúlent farvegsstraumur er knúinn af orkutapinu frá hinum túrbúlent skerspennum, sem hreint statistikt má finna að ákveðast af:

$$(20) \quad \tau = \gamma (D - y) I$$

τ = Skerspennan í hæð y yfir botni

γ = eðlisþyngd

I = fallið á orkulínunni

Skerspennan er þannig 0 við yfirborð og mest við botninn.

Blási vindur yfir gefur hann tilefni til skerspennu, konstant frá yfirborði og niður á botn. Spennu þessa má skrifa sem

$$(21) \quad \tau_w / \rho = \lambda_w \cdot W^2 = U_{*1}^2 w$$

þar sem W er vindhraðinn og λ_w stuðull, háður yfirborðinu eingöngu. Útreikningur á λ_w hefur gefið tilefni til margra athugana með misjöfnum árangri. Lægra λ_w en $1.4 \cdot 10^{-3}$ hefur ekki mælt svo öruggt geti talizt og hærri λ_w en $4 \cdot 10^{-3}$ ekki heldur. Reikna má með

$$\lambda_w = 2.2 \cdot 10^{-3}$$

sem meðaltali, sem gildi í flestum gilfellum.

Heildarskerspenna verður þá

Við yfirborð $\tau = \tau_w$

Við botn $\tau = \tau_w + \gamma D I$

τ_w og $\gamma D I$ reiknað með formerkjum.

Þar sem I er konstant þvert á straumstefnuna í hverjum farvegi þá sést strax af þessu að áhrif vindsins á straumhraðann fara mest eftir dýpi. T.d. ef vindur blæs á móti getur hann snúið straumnum við þar sem grunnt er, meðan hann heldur sem næst óáreittur áfram þar sem djúpt er.

Við strendur þar sem munur flóðs og fjöru er mikill hefur vindurinn að sjálfsögðu ekki áhrif á eðlilega fyllingu og tæmingu djúpra vatnasvæða með flóði og fjöru. Hér skal því reiknað með:

$$\bar{U} = \text{konstant (í þversniði)}$$

Til að vega upp á móti áhrifum vindsins verður því I að breytast, og þannig lendir vatnshæðin útúr eðlilegum fasa. Þessi fasamunur hefur þó að sjálfsögðu engin áhrif á \bar{U} , enda óverulegur.

Hraðaprófillinn truflast verulega vegna tilveru \mathcal{T}_w . R.O.Reid notaði blöndunar lengdarkenningu Prandtl's með breytilegu \mathcal{T} (3) verður þá

$$(22) \quad \mathcal{T}/\rho = l^2 |dU/dy| \cdot dU/dy$$

fyrir l notaði Reid líkingu birta 1943 af Montgomery

$$(23) \quad l = K/D (y + kb/30) (D + kw/30 - y)$$

þar sem kb og kw eru hrjúflekarnir við botn og yfirborð.

Hraðaprófillinn ákveðst nú með integration útfrá \mathcal{T}_b við botn og \mathcal{T}_w við yfirborð og \mathcal{T} línulega breytileg þar á milli. kb og kw ákveðast þá af \mathcal{T}_b , \mathcal{T}_w og (22). Þetta eru litlar stærðir sem enga raunverulega þýðingu hafa fyrir hraðaprófillinn, nema í nánasta nágrenni botns og yfirborðs. Í (23) eru þeir aðeins með til að koma í veg fyrir að U stefni á óendanlegt við röndina svo sem hinn venjulegi logaritmaprófill og geta í stað þess notað hið einfalda randskilyrði $U = 0$ við botninn, sem er hentugt í númerískri integration.

Þar sem dU/dy er allstaðar þósetfivur (vindur blæs með straumnum) fæst af (22)

$$dU/dy = 1/l \cdot \sqrt{\tau/e} = 1/l \cdot \sqrt{\tau_w/e + \tau_b (D-y)/D \cdot e}$$

Með því að nota

$$U' = U/U_{*,w}$$

$$Y' = Y/D, \quad k_b' = k_b/30D, \quad k_w' = k_w/30D$$

$$m = \tau_w/\tau_b$$

Fæst líking fyrir dimensionslausum hraðaprofíl:

$$(24) \quad dU'/dy' = \frac{\sqrt{1+m(1-y')}}{K(y'+k_b')(1+k_w'-y')}$$

Af líkingunni sést að hraðapróffíllinn ákveðst fyllilega af m og $U_{*,w}$, sem eining gildir í hinu almenna tilfelli að sjálf-sögðu. Líkinguna má integrera, og fæst þá samband milli m og \bar{U} sem gildir fyrir $0.5 \leq m \leq 2.0$.

Þar sem λ er stuðull samskonar og λ_w , háður k_b og k_w , en númerískt nokkru hærra en λ_w .

Ef meðalhraði þversniðsins V er gefinn, er sá óbreyttur og því fæst með að leggja X ás í yfirborðinu eftir þversniðinu

$$\int_X D \sqrt{m/\lambda} dx = V \cdot F/U_{*,w} - 1.2 F$$

Þar sem F er þversniðið. λ breytist logaritmískt með dýpinu og má því líta á það sem konstant, vegna

$$(26) \quad \tau_b = \tau_w + \gamma DI$$

og þess að I verður að vera konstant þvert á straumstefnuna þá gefur (25)

$$(27) \quad m = 1 + D/D_0 \cdot (m_0 - 1)$$

þar sem D_0 er dýpið tilheyrandi m_0 . Með hentugu vali á D_0 , og á áður nefndu gildisbili $0.5 \leq m \leq 2$ má nú reikna út integrálið.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} \cdot \int D \sqrt{1 + D/D_0 \cdot (m_0 - 1)} \cdot dx \approx \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \int D (1 + D/2D_0 (m_0 - 1)) dx$$

og þar sem:

$$\int D^2/2 dx$$

er statistikt moment þversniðsins um x-ásinn fæst:

$$(28) \quad (1 + e/D_0 \cdot (m_0 - 1)) / \sqrt{\lambda} = V/U_{*,w} - 1.2$$

þar sem e er fjarlægð þyngdarpunktsins frá x-ásnum.

(28) gefur m_0 þegar λ og W er þekkt, og $U_{*,w}$ fundið frá (21). Síðan finnst \bar{U} í hverjum vertikal út frá (25) og (27).

Niðurstöðurnar eiga við þegar vindur blæs með straumi. Hitt tilfallið þegar vindur blæs á móti straumi er hægt að meðhöndla á svipaðan hátt, en þar sem skerspennurnar eiga að leggjast saman vektoríalt skiptir nákvæm stefna þeirra höfuðmáli, og niðurstöður aðeins gildandi fyrir kanalstraum.