

Guttormur Sigbj.  
81/02



ORKUSTOFNUN  
Vatnsorkudeild

DE GREINARCELDASAFN



GOSIÐ Í ST. HELENS ÁRIÐ 1980.

Greinargerð um kynnisferð 81.04.25. - 81.05.11.

Guttormur Sigbjarnarson

GS-81/02

Júlí 1981



**ORKUSTOFNUN**

GRENSÁSVEGI 9, 108 REYKJAVÍK

GOSIÐ Í ST. HELENS ÁRIÐ 1980.

Greinargerð um kynnisferð 81.04.25. - 81.05.11.

Guttormur Sigbjarnarson

GS-81/02

Júlí 1981

EFNISYFIRLIT

	bls.
INNGANGUR. TILEFNI OG TILGANGUR FARARINNAR .....	1
SKIPULAG FERÐARINNAR .....	1
ELDVIRKNI ST. HELENS .....	4
GOSTJÓNID .....	7
ÁHRIF GOSSINS Á REKSTUR RAFORKUVERA .....	10
ÁHÆTTUKORTLAGNING VEGNA ELDVIRKNI .....	14
AÐRIR ÞÆTTIR KYNNISFERÐARINNAR .....	14
a. SSARR - reiknilíkanið .....	14
b. Nýjung í vatnshæðarmælingum .....	15
c. "Meteor burst" fjarskiptatækin .....	15
LOKAORÐ .....	16
HEIMILDIR .....	17

INNGANGUR. TÍLEFNI OG TILGANGUR FARARINNAR.

Fljótlega eftir að fréttir bárust hingað af stórgosinu í St. Helens þ. 18. maí 1980, þar sem yfir 70 manns fórust og öskufall varð yfir þvera N-Ameríku, komu fram þær hugmyndir að stórfróðlegt væri vegna áætlana um nýtingu vatnsafls á Íslandi að kynna sér reynslu virkjana-sérfræðinga í norðvesturhluta Bandaríkjanna af afleiðingum slíkra náttúruhamfara. Í ríkjunum Washington, Oregon, Idaho og Montana í norðvestur U.S.A. og í British Columbia í Canada er eitt háþróaðasta kerfi vatnsaflsvirkjanir í heimi, þar sem á milli 150-160 vatnsaflsvirkjanir ásamt tilheyrandi miðlunarlonum eru reknar í samtengdu kerfi, og auk þeirra tengjast því a.m.k. tvö kjarnorkuver og nokkur varmaorkuver. Nokkur af þessum orkuverum liggja mjög nálægt St. Helens og önnur á mesta öskufallsvæðinu. Árið 1966 dvaldist höfundur þessarar greinargerðar í 10 vikur á vegum „U.N. Special Fund“ og Orkustofnunar hjá ýmsum virkjana-fyrirtækjum og rannsóknarstofnunum í borginni Portland í Oregon til að kynna vatnafræðiáætlunum vegna virkjanaframkvæmda. Kynntist ég þá m.a. starfsemi Pacific Powers & Light Company og U.S. Army Corps of Engineers, en þau fyrirtæki eiga þær virkjanir sem næst liggja St. Helens, og ferðaðist ég einnig mikið um svæðið. Frá þeirri dvöl hef ég haldið persónutengslum við vissa menn þar, sérstaklega við Donald W. Kuehl forstöðumann Portland River Forecast Center, er annast rennslisspár fyrir allt virkjanakerfið. Það kom því eðlilega mjög til álita, að ég færi slíka kynnisferð, þar sem ég einnig gæti kynnt mér framþróun þeirra í rennslis-rannsóknunum frá því ég dvaldist þar 1966. Framkvæmdaráð Vatnsorkudeildar samþykkti að taka þessa ferð inn á fjárhagsáætlun fyrir árið 1981, og var ferðaheimildin gefin út af Orkumálastjóra 1981-03-12 og staðfest af Iðnaðarráðuneytinu 1981-03-15.

SKIPULAG FERÐAINNAR

Farið var héðan 25. apríl og ég kom aftur hingað að morgni 11. maí.

Donald W. Kuehl annaðist alfarið skipulag kynnisdvalar minnar og var það í samræmi við óskir mínar. Eftirfarandi stofnanir heimsótti ég, og naut þar hvarvetna hinnar bestu fyrirgreiðslu.

1981-07-23

1) U.S. Geological Survey Volcanic Center, Vancouver, Washington, sem rannsakar St. Helens fjallið sjálft og fylgjast með gosvirkninni. Raunverulega hefur gosvirknin haldið stöðugt áfram fram til dagsins í dag frá því hún hófst um 20. mars 1980. Þeir Chris Newhall, sem tók á móti mér, Jick Janda, Tom Pierson og Kevin Scott tóku mig með í eftirlitsferð um eyðileggingarsvæðin við St. Helens og kynntu mér þróun eldvirkinnar. Þeir vinna að því að meta áhætturnar í tengslum við gosvirknina.

2) U.S. Geological Survey, Tacoma, Washington, sem annast rannsóknir á afleiðingum gossins og á rofi gosefnanna. P. J. Carpenter settur forstöðumaður tók á móti mér og hann ásamt nokkrum starfsfélögum sínum kynntu fyrir mér þá rannsóknarstarfsemi sem þeir eru með í gangi og þau vandamál sem við er að glíma í því sambandi. Mark F. Meyer kynnti sérstaklega fyrir mér áhrif gossins á jökla- og snjóleysingu á og við St. Helens.

3) Pacific Power and Light Company, Portland, Oregon, sem á og rekur þrjár virkjanir í Lewis River. Þær eru á stærð við núverandi Þjórsár-Tungnaár virkjanir (Búrfell, Sigöldu og Hrauneyjarfoss). Suður- og austurhlíðar St. Helens eru á vatnasviði Lewis River og liggur efsta virkjunin (Swift plant) um 15 km frá hátindi fjallsins. S. A. de Sousa framkvæmdastjóri tók á móti mér og fór með mig í ferðalag um virkjanarsvæðið. Virkjanirnar liggja sunnan og suð-vestan við St. Helens, en megin gostjónið varð til norðurs. Samt sem áður runnu nokkur eðjuhlaup<sup>(+)</sup> út í efsta miðlunarlónið og ýmsar truflanir urðu á starfsemi þeirra (sjá bls. 10).

4) Tacoma City Light Company, Tacoma, Washington, sem annast rekstur virkjana í Cowlitz River o.fl. í Washingtonríki. Virkjanirnar í Cowlitz River, sem liggja norðan við St. Helens, hafa orðið fyrir margvíslegum rekstrartruflunum vegna eðjuhlaupa, sem fóru í ána og öskufalls á vatnasviðið. Ray L. Duncan forstöðumaður virkjanarekstursins tók þar á móti mér og kynnti fyrir mér helstu vandamál þeirra. Einnig ræddi hann sérstaklega öskufallsvandamálin almennt.

+) Ég nota hér orðið eðjuhlaup sem þýðingu á enska orðinu "mud flow". Það hefur oft verið þýtt með orðinu eðjustraumur. Einnig nota ég orðið aurlaup fyrir "debris flow".

1981-07-23

- 5) U.S Army Corps of Engineers, Emergency Operation Section, Portland, Oregon, sem hefur haft með björgunaraðgerðir (almannavarnarstarf) að gera. Douglas Weisener forstöðumaður tók á móti mér og gerði grein fyrir þætti þeirra í björgunarstarfinu og viðbúnaði þeirra að mæta nýju hættuástandi.
- 6) U.S. Army Corps of Engineers, Hydrological Engineers Section, Portland, Oregon, sem hefur með höndum áætlanagerð og hönnun varnarmannvirkja, uppgröft árfarvega og byggingu flóðvarnargarða. George Holmes forstöðumaður deildarinnar og samstarfsmenn hans tóku á móti mér og kynntu mér þær gífurlegu framkvæmdir sem búið er að gera og eru í undirbúningi við árnar, þar sem eðjuhlaupin eyðilögðu farvegi þeirra.
- 7) National Weather Service, River Forecast Center, Portland, Oregon, sem annast allar rennslis- og vatnafarsspár fyrir norðvestur Bandaríkin og þar á meðal flóðahættuspár á St. Helens svæðinu. Donald W. Kuehl forstöðumaður þeirrar stofnunar var aðalskipuleggjandi kynnisdvalar minnar. Hann kynnti fyrir mér mæliaðferðir og framkvæmdir á flóðaspám í tengslum við eldvirkni St. Helens. Ennfremur kynnti hann fyrir mér svonefnt SSARR-rennslisspáalíkan, sem þeir nota fyrir öll norðvestur ríkin. Þetta reiknilíkan er þróað hjá River Forecast Center í Portland og er nú notað nokkuð víða um heim. Chuck Orwig og Russ George kynntu fyrir mér hvernig SSARR-reiknilíkanið er undirbúið með gagnasöfnun og fóru í gegnum vinnslustig þess bæði með tilliti til einstakra miðlunarlóna og til miðlunarkerfisins í heild.
- 8) Soil Conservation Service, Portland, Oregon, sem annast margvíslegar vatnafræðilegar mælingar, svo sem snjósmælingar í þessum hluta Bandaríkjanna. Erindi mitt til þeirra var fyrst og fremst að kynna mér fjarskiptatækni sem þeir nota, en þeir hafa nú í fjögur s.l. ár notað svonefnda "Meteor-burst" aðferð við söfnun gagna frá mælistöðvum sínum. Arthur G. Crook vatnafræðingur og fleiri kynntu mér þessa mælitækni (sjá bls. 15).
- 9) Leupold og Stevens, Inc., Beaverton, Oregon, sem framleiða vatnshæðarmæla og önnur vatnafræðileg mælitæki. Norbert Leupold, JR. kynnti fyrir mér nýjungar í mælitækjaframleiðslu og sérstaklega tölvuvæðingu eldri mæla (sjá bls. 14).

Hjá flestum þessum fyrirtækjum var ég í eins dags heimsókn, en aðeins hálfan hjá nokkrum og um þrjá daga hjá River Forecast Center Portland. Hjá öllum þessum stofnunum fékk ég ýmsar skýrslur, greinargerðir og sérprent. Í lok þessarar greinargerðar mun ég birta skrá yfir þau markverðustu.

1981-07-23

ELDVIRKNI ST. HELENS

Hér gefst ekkert svigrúm til að setja fram neina almenna lýsingu á þeim náttúruhamförum er eldvirkni St. Helens leiddi af sér, heldur aðeins drepnið á örfá atriði, sem þýðingu hafa til skilnings á mismunandi hættum og afleiðingum gossins.

Eftir meira en 120 ára hlé á eldvirkni í St. Helens veittu menn því athygli veturinn 1980-81 að tíðni smáskjálfta við St. Helens fór vaxandi. Þó vakti það enga sérstaka athygli vegna þess hve jarðskjálftar eru algengir á þessum slóðum. Um miðjan mars 1980 eykst enn tíðni skjálftanna og þeir ná styrkleika  $>4$  á Richter. Næstu daga fer skjálftavirknin ört vaxandi og er komin í um 40 skjálfta á klst. þann 25 mars. Jarðvísindamenn byrja alvarlega að óttast framhlaup og e.t.v. gos, þó að enn væri um það deilt. Samt er byrjað að gera öryggisráðstafanir vegna mögulegra náttúruhamfara með lokun vega o.fl. þ. 26. mars.

27. mars verður minni háttar sprengigos rétt norðan við hátind fjallsins og sprungur mynduðust í toppi þess. Næstu daga eru tíð minni háttar sprengigos við fjallstoppinn, miklar sprungumyndanir niður í hliðarnar, gufuhverir myndast og eðjuhlaup falla. Gosmekkirnir náðu í allt að 5 km hæð og lítilsháttar öskufall varð í næsta nágrenni innan 15 km fjarlægðar, en varð þó vart í allt að 150 km fjarlægð.

Þ. 3. apríl hefst stöðugur gosórói, norðurhliðar fjallsins byrja að bóligna út um allt að 1-1,5 m/dag, gufu- og öskugos í fjallstoppum, öskufall víða um nágrennið og einstakir skjálftar sterkari en áður.

4. apríl - 17 maí. Norðvesturhliðar St. Helens bóligna stöðugt út um 1-1,5 m/dag. Það dregur heldur úr gosvirkninni í fjallstoppum, en þó er ávallt einhver virkni. Öskugos varð þ. 7. maí og smáframhlaup þ. 12. maí. Jarðvísindamenn voru sammála um, að til stórtíðinda væri að draga, þó að stöðugt væri um það deilt, hve ástandið væri hættulegt. Sífelld var þó verið að auka varúðarráðstafanir. Fjallið og næsta nágrennið var lýst hættusvæði, fólk var flutt frá mestu hættusvæðunum, vatnsborð var lækkað í næsta miðlunarlónum til að mæta flóðum, og fjarstýringu var komið upp við næstu vatnsvirkjun.

1981-07-23

Almannavarnarkerfið var í viðbragðsstöðu. Klukkan 8,32 að morgni 18. maí hefst svo gífurlegt sprengi- og öskugos í St. Helens, hæsti hluti fjallsins hrynur og eðju- og gusthlaup æða niður dalina umhverfis. Atburðarásin hefur verið rannsökuð bæði eftir frásögnum, myndum og ýmsum afleiðingum

Hún er í stórum dráttum á þessa leið: NV-hlíðarnar, sem höfðu verið að bóligna út, missa jafnvægið og framhlaup leggur af stað niður hlíðina. Fjallstoppurinn og norðurhlíðar fjallsins, alls um 2,5 km<sup>3</sup>, hlaupa af stað og steypast niður í dalinn við hlíðina. Fjallið lækkaði um nær 400 m, og framhlaupsskriðan náði um 27 km frá fjallinu. Á meðan á framhlaupinu stendur verður gosgufusprenging í fjallinu. Áætlaður styrkleiki sprengingarinnar er tilsvarendi um 500 Hirosima-sprengjum. Líklega vegna framhlaupsins beinist aðal sprengikrafturinn til hliðar, það er til norðurs. Heitar gosgufurnar rífa með sér ösku, vikur og hluta efnis úr framhlaupinu. Sprengingin feykir burtu og gjöreyðir öllu lífi á um 400 km<sup>2</sup> svæði, sem myndar hálfhring til norðurs í allt að 24 km fjarlægð frá fjallstoppnum. Það var ekki aðeins stormhraðinn einn er orsakaði eyðilegginguna, heldur var loftið sem var brennheitt, hlaðið ösku og leðju, algerlega banvænt. Hraði stormbylgjunnar frá sprengingunni var slíkur að stórskógurinn, sem þarna vex, lagðist allur flatur undan sprengikraftinum og auðvitað öll mannvirki er þarna voru. Samt reyndust glóðheitar gosgufurnar ennþá banvænni, er sést af því, að utan þess svæðis er skógurinn f auk um koll er 500-2000 metra breitt belti, þar sem skógurinn stendur óbrotinn, en samt alveg stein-dauður vegna hitans.

Um svipað leyti og sprengigosið hefst eða í byrjun gossins losna svo mikil eðjuhlaup (mud flow) við eða í fjallstoppnum, sem flæða niður lögðir og dali í allar áttir út frá fjallinu. Til suðurs og suðvestur, þar sem sprengigosið náði ekki til, flæddu eðjuhlaupin niður alla dali í 25-35 km fjarlægð út frá fjallinu. Hlaupin, sem fóru til norðurs og norðvesturs, lentu í samfloti við framhlaupið og eyðileggingu sprengigossins, en við það mögnuðust þau gífurlega. Eðjuhlaupin komu á eftir framhlaupinu, því að megin farvegir þeirra eru sitt hvoru megin við aðalframhlaupið. Jafnframt er sýnt að framhlaupið lagði þeim til mikið viðbótarefni. Eðjuhlaupin féllu niður báðar upptakakvíslar Toutle River og þaðan í Cowlitz River, sem rennur síðan í Columbia fljótið, en þangað náðu eðju-



1981-07-23

hlaupin af fullum krafti, þó að vegalengdin sé tæplega 120 km. Eðjuhlaupin náðu allt að 8,5 m/s hraða en víðast í dölunum var hann 2-7 m/s. Hlaupin hrifu með sér öll mannvirki, svo sem brýr, byggingar og vélar á leið sinni niður dalina og þau fylltu árfarvegina og dalbotnana af aur og eðju. Við ármót Toutle River og Cowlitz River reis vatnsborðið um nær 6,5 m. Þegar niður á láglendið kom dreifðust eðjuhlaupin út og straumhraðinn minnkaði. Samt sem áður barst það mikið aurlaup út í Columbia fljótið, að siglingaleiðin móts við ármynni Cowlitz River grynnaði um 8 m. Aurbylgjan skreið á móti straumi upp í Columbia fljótið, svo að siglingaleiðin grynnaði í allt að 11 km fjarlægð, og mikið lengra undan straumi.

Beint í kjölfar eðjuhlaupanna (mud flow) fylgdi svo gushlaup<sup>\*</sup> (Pyro-clastic eða base surge) frá aðalgíg St. Helens, en þau hegða sér á margan hátt svipað og eðjuhlaup, nema hvað hraðinn er mun meiri. Megin mismunurinn á eðjuhlaupi og gushlaupi er sá, að eðjuhlaupið er blanda að öllum tilgengilegum kornastærðarflokkum ósorteruðum og vatni og stundum ís, en í gushlaupinu kemur samþjappað loft í stað vatns. Sennilega eru til blöndur af gushlaupi og eðjuhlaupi. Þó að ég hafi ekki séð beina lýsingu á slíku hlaupi, þá er að finna lýsingar er benda til þess. Bæði þessi hlaup hegða sér svipað, nema hvað gushlaupin laga sig ekki eins vel að landslaginu vegna meiri hraða og fara því meira yfir hæðir og hryggi. Í báðum tilfellunum skilja hlaupin eftir sig jafnfallið, ósorterað setlag í slóð sinni og grafa því allt undir sig. Gushlaupið frá St. Helens lagði síðar af stað frá fjallinu heldur en eðjuhlaupið og það fór aðeins til norðurs í kjölfar sprengigossins. Setið frá því liggur ofan á setinu frá eðjuhlaupinu næst fjallinu. Vegna meiri hraða náði það eðjuhlaupinu um 15 km niður eftir Toutle River dalnum og þar fyrir neðan er setið frá gushlaupinu undir setinu frá eðjuhlaupinu. Aftur á móti gætir áhrifa frá gushlaupinu mun styttri vegalengd niður eftir dalnum, þar sem það deyr út, þegar samþjappað loftið er horfið úr setinu. Eðjuhlaupin halda áfram og breytast í aurlaup, sem þá byrja að sortera setefnin og þeim mun meira eftir því sem straumhraðinn minnkar. Einnig má taka fram að hraði gushlaupanna er slíkur að enginn getur forðað sér undan þeim, aftur á móti tekst mörgum að forða sér undan eðju- og aurlaupum.

\*: Nýyrði innleitt af Guðmundi Kjartanssyni (1967) um loftblandin framhlaup eða goshlaup og þau geta myndast við mjög öflugar sprengingar.

1981-07-23

Stórfelld ösku- og vikugos fylgdi svo beint í kjölfar sprengigossins og gusthlaupsins. Gosmökkurinn steig upp í tæplega 20 km hæð á skammri stundu. Vindátt var vestlæg, svo að askan barst til austurs og öskufallið barst á þrem dögum þvert austur yfir Bandaríkin. Mest varð öskufallið næst fjallinu í ríkjunum Washington, Idaho og Montana, þar sem það náði allvíða 3-6 sm þykkt.

Frá 18. maí til 7. júní voru tíð sprengi- og öskugos, þó að stærð þeirra væru mun minni en áður. Hæð gosmakkarins var um 7-13 km. Eitt mesta sprengigosið varð 25. maí og því fylgdi umtalsvert öskufall í Portland. Einnig fékk Seattle sinn skammt af ösku, vegna þess að vindátt var breytileg á þessum tíma. Ný gusthlaup fylgdu mörgum sprengigosunum, en þau náðu aðeins skammt inn á eyðileggingarsvæðin. Um 1100 m djúp skál hafði myndast í fjallstoppinn með skarði til norðurs, þar sem framhlaupið hafði rifið alla fjallshlíðina burtu.

Hraungúll (lava dome) byrjaði að myndast inn í gígskálinni upp úr 7. júní og hefur myndun hans haldið stöðugt áfram a.m.k. til aprílloka 1981 er ég var þar. Á 2-3 mánaða fresti hafa orðið sprengigos við hraungúllinn og hefur hann þá tæst sundur að verulegu leyti. Nokkur öskugos hafa fylgt sprengigosunum og gusthlaup hafa fylgt í kjölfar þeirra. M.a. fórst jarðfræðingur frá U.S.G.S er hann varð fyrir gusthlaupi í febrúar s.l. og hefur lík hans ekki fundist. Hraungúllin reis um 215 m yfir umhverfið þegar ég var þar og hætta var talin á nýju sprengigosi.

Búið var að flytja burt alla íbúa mestu hättusvæðanna nema einn er neitaði að fara, þegar störgosið varð þann 18. júní 1980. Aftur á móti fórust um 70 manns, en flestir höfðu farið inn á hättusvæðið í trássi við allar aðvaranir. Fæst líkanna hafa fundist, en þau liggja grafin undir gusthlaups- og framhlaupssetunum, er ná allt að 180 m þykkt.

#### GOSTJÓNID

Ógerningur er að meta til fjár heildartjónið af gosvirkni St. Helens, en það nemur örugglega í heild mörgum milljörðum dollara. Hvert einstakt

1981-07-23

afbrigði eldvirkinnar, eins og þeim er lýst hér að framan, veldur sinni sérstöku gerð af tjóni, og þar eru oftast lítil líkindi innbyrðis. Framhlaupið gjöreyddi öllu sem á því var og á vegi þess varð. Það sjálft náði þó lengst um 27 km frá fjallinu. Mest var þetta skógarsvæði með lítilli fastri búsetu. Aftur á móti var þar nokkuð af auðum orlofshúsum og ýmsum ferðapjónustu- og skógarhöggsmannvirkjum. Allt gjöreyddist þetta og hluti þeirra sem fórust, grófust þar undir. Framhlaupið stíflaði upp dali, sem smátt og smátt fyllast af vatni. Þetta skapar miklar nýjar hættur á eðjuhlaupum. Þegar hafa orðið tvö slík eðjuhlaup, sem hafa valdið umtalsverðu tjóni. Nú er unnið að því að sprengja mikla rás í fast berg við hliðina á hlaupinu til að fyrirbyggja að slíkt endurtaki sig.

Sprengigosið gjöreyddi svo til öllu lífi á rúmlega 400 km<sup>2</sup> svæði. Örfáir einstaklingar sluppu þó lifandi frá útjöðrum þessa svæðis vegna þess þeir voru í bílum eða öðru skjóli og sluppu við fallandi og fjúkandi trjáboli. Því lífi sem loftþrýstibylgjan grandaði ekki gjöreyddi hitinn, svo að nú er þetta svæði alger eyðimörk. Mikið hefur þó verið unnið að því að nýta skóginn, sem blés um koll, eftir því sem föng eru á. Einnig er smávegis byrjað að sá í fjarlægustu svæðin. Ekki hafði verið mikið um fasta búsetu á svæðinu að ræða. Aftur á móti var þarna fjölsótt útvistarsvæði með orlofshúsum og tilheyrandi mannvirkjum. Auk þess átti skógræktin þarna miklar vinnslustöðvar með vélum og mannvirkjum. Þetta eyðilagðist allt ásamt samgöngumannvirkjum og raflinum. Engin meiriháttar háspennulína lá þó um þetta svæði, heldur aðeins dreifiveita.

Tjón af völdum eðjuhlaupanna er fyrst og fremst bundið dalbotnunum og árfarvegnum, þar sem hlaupin sjálf fara niður. Hæð hlaupbýlgjunnar ræður því, hve hátt tjónið nær upp í dalhlíðarnar. Þegar hlaupin komu út úr dalmynnunum út í flatara land dreifist úr þeim og straumhraðinn minnkar (1-2 m/s) og eðli þeirra breytist í aurhlaup. Inni í dölunum sópuðu hlaupin burtu öllum mannvirkjum, svo sem brúm, húsum, trjávinnslutækjum, vélum o.fl. Árfarvegirnir og sléttur á dalbotnunum fylltust af aur og eðju. Auk þess var óhemju magni af niðurbrotnum skógi hrært saman við. Um 300 íbúðarhús eyðilögðust alveg auk annarra bygginga. Niður á sléttunni sópuðust mannvirkin ekki beinlínis burtu, heldur hlóóst eðja og aur umhverfis og inn í þau, árfarvegirnir fylltust af eðju.

1981-07-23

Vatn og aur flæddi um vegi, þorp og sveitir og ullu með því margþættu tjóni. Þrjú eðjuhlaup féllu niður í efsta uppistöðulónið í Lewis River undir suðurhlíðum St. Helens. Þau höfðu þá farið 10-25 km vegalengd. Þrátt fyrir það fluttu þau með sér um 1,25 Gt af aur inn í lónið, auk óhemju magns af trjábolum. Fyrir gosið höfðu flóðaspáastarfsmenn fengið því framgengt, að dregið hafði verið niður í lóninu um tæpa tvo metra við litla þökk virkjunareigenda, því að þetta var í lok vatnssöfnunartímans. Eðjuhlaupin komu af stað flóðbylgjum í uppistöðulóninu, en þær náðu aðeins 60-70 cm hæð á stíflunni, svo að tjón varð ekkert á virkjunarmannvirkjum. Þessi virkun hafði verið gerð fjarstýrð og gæslumenn fluttir á brott, áður en stórgosið hófst. Eðjuhlaupin fylgdu vatnsbotninum er þau féllu inn í uppistöðulónið og staðnæmdust þar án þess að blandast vatninu sem fyrir var. Aurburður inn í lónið hefur margfaldast eftir gosið og eðjuhlaup (turbidity currents) eru tíð niðri í vatninu. Þau eru smátt og smátt að hræra leir og mélu upp í vatninu, svo að uppistöðulónið er stöðugt að verða gruggugra og gruggugra.

Gífurleg vinna og fjármagn hefur verið lagt í að grafa upp árfarvegina, þar sem eðjuhlaupin og aurlaupin fylltu þá. Í sjálfu Colombia fljótinu voru fyrst og fremst dýpkunarskip notuð við gröftinn, en annars staðar var safnað saman stórvirkustu gröfum víðsvegar frá í Bandaríkjunum til að sjá um hann. Flóðahættan var gífurleg á meðan árfarvegirnir voru allir fullir af aur. Einnig er allur aurburður mörg þúsundfaldur miðað við venjulegar aðstæður. Eitt mesta vandamálið var að losna við aurinn, sem grafinn var upp. Hann hefur þó verið notaður til að byggja upp varnargarða meðfram ánum, og einnig hefur tekist að semja við bændur að þekja mikil ræktunarlönd með uppgreftri og rækta þau upp að nýju.

Áður hefur verið vikið að því, hvernig framhlaupið stíflaði upp þverdali, og getur með því skapast hættu á nýjum eðjuhlaupum, þegar vatn safnast í þá. Sama máli gegnir um sétfyllingar eftir eðjuhlaupin. Þetta veldur stöðugri hættu á nýjum eðjuhlaupum. Það eru því gerðar miklar ráðstafanir til að draga úr þeirri hættu og úr aurburðinum. Byggðar hafa verið tvær bráðabirgðastíflur í Toutle River dalinn til varnar gegn eðjuhlaupum og til að safna aurnum. Nýtt eðjuhlaup fór að vísu með hluta annarrar þeirra í s.l. mars, en samt sem áður dró hún verulega úr áhrifum þess og er verið að endurbyggja hana á ný. Aurinn, sem safnast á bak

1981-07-23

við stíflurnar, er grafinn í burtu og komið fyrir þar sem hægt er að sá í hann. Aurfyllurnar í dölunum skapa mörg og mikil vandamál sérstaklega viðkomandi flóða- og eðjuhlaupahættu og er unnið að margvíslegum varnaraðgerðum, sem of langt mál yrði að tíunda hér, en þar má tilnefna mikinn sprengdan veituskurð fram hjá framhlaupinu, eins og áður hefur verið dregið á (bls. 8)

Gusthlaupin eru svo til gjöreyðandi, þar sem þau fara yfir. Fyrsta gusthlaupið orsakaði samt sem áður lítið viðbótartjón, þar sem það fór fyrst og fremst yfir svæði sem önnur eyðingaröfl höfðu þegar unnið á, nema þar sem það fór vegna meiri hraða fram úr eðjuhlaupinu. Þar varð gusthlaupið fyrsti eyðingarvaldurinn. Síðari gusthlaupin hafa leitað á svipaðar slóðir, þar sem þau hafa kostað a.m.k. eitt mannlíf. Sífelldar endurtekingar þeirra (á 2-3 mánaða fresti) gera all stórt svæði norðan undir St. Helens að sífelldu hættusvæði, en það torveldar þar mjög allar rannsóknir og varnaraðgerðir.

Íslendingum eru það kunnar afleiðingar öskugosa og tjóni því, sem þau valda, að óþarft er að rekja þann þátt mikið hér. Engin skaðleg eiturefni, svo sem fluor, reyndust í öskunni, svo að hún spillti hvorki vatni eða gróðri á þann hátt. Aftur á móti var mikið af öskufallinu tiltölulega fínt, svo það fauk mikið til. Því fylgdu margvísleg viðbótar óþægindi og erfiðleikar, og miklar kvartanir komu fram um skemmdir á síu-útbúnaði véla.

#### ÁHRIF GOSSINS Á REKSTUR VATNSAFLSVIRKJANA

Þrátt fyrir náttúruhamfarirnar tókst að halda rarorkuframleiðslunni gangandi allan tímann, þó að víða kæmi til minni háttar truflana. Þetta tókst einvörðungu vegna þess, hversu stórt virkjana- og miðlunarkerfið er. Það lítur allt einni sameiginlegri yfirstjórn. Einnig er kerfið mjög vel búið bæði að uppsettu afli og miðlunarrými, og aðeins hluti þess varð fyrir afleiðingum gossins. Þess vegna var hægt að draga niður í vissum uppistöðulónum og safna um leið í önnur og stöðva vissar virkjanir til hreinsunar, án þess að verulegt vatnsafl færi til spillis.

Mismunandi eðlisþættir gossins skópu hvert sína tegund vandamála og kröfðust þar af leiðandi sinna sérstöku úrlausna.

1981-07-23

Suður og suðaustur hlíðar St. Helens liggja á vatnasviði Lewis River, sem rennur eftir djúpum þröngum dal út í Colombia fljótið. Sprengigosið 18. maí og öskugosið sem því fylgdi lögðu í eyði nokkuð svæði á efsta hluta vatnasviðsins. Í Lewis River dalnum hafa verið byggð 3 uppistöðulón, það neðsta með steinsteyptri stíflu en þau tvö efri með jarðstíflum, með 4 virkjunum í tengslum við þau með samanlögðu falli um 290 m og 518 MW uppsettu afli. Áætlað var að stækka þessi orkuver, en þau eru öll nema það minnsta í eigu Pacific Power and Light Company í Portland, sem rekur þessar virkjanir og eru helstu niðurstöðurnar að finna í skýrslunni: "Study of Effects of Potential Volcanic Activity on Lewis River Project", sem PP&L hefur látið vinna (sept. 1980).

Efsta miðlunarlónið í Lewis River, Swift Reservoir liggur í 10-20 km fjarlægð frá toppi St. Helens. (Virkjunin sjálf í 15 km fjarlægð). Í það falla árnar sem upptök eiga í fjallinu sjálfu. Þar eru Swift Creek, Pine Creek og Muddy River. Í gosinu 18. maí '80 kom eðjuhlaup í allar þessar ár er náðu inn í lónið. Til allrar hamingju var eðjuhlaupið í Swift Creek tiltölulega lítið og náði aðeins lítills háttar inn í lónið, þó að fjarlægðin frá upptökum þess væri aðeins tæpir 10 km, en ósar Swift Creek eru skammt ofan við stífluna. Ósar Pine Creek og Muddy River eru út í Lewis River rétt ofan við efri enda lónsins, sem er 18,5 km á lengd. Í þær báðar komu margfalt stærri eðjuhlaup, er sópuðu burtu öllum brúm og öðrum mannvirkjum. Þau fluttu um 1,25 Gl af eðju og aur alveg inn í uppistöðulónið og fylltu árfarvegina. Bæði vegna þessa og jafnframt vegna þess að hluti af vatnasviði þessara áa er á sprengitjóns- og öskufallssvæðinu er reiknað með að á fáum árum munu um 0.6 Gl af aur berast inn í lónið til viðbótar. Virkt miðlunarrými Swift Reservoir er um 87 Gl, svo að 2 Gl af aur skerða það ekki stórlega, auk þess fór nokkur hluti aursins fór út á meira dýpi. Vissulega styttist æfitími lónsins nokkuð, en hann var fyrir áætlaður 500-600 ár. Aftur á móti vex miðlunarpörfin vegna þess, að dragareinkenni vatnasviðsins aukast á sprengigoss- og öskufallsvæðunum.

Fyrir gosið 18. maí var af öryggisástæðum búið að gera Swift-orkuverið fjarstýrt, flytja stöðvarverðina burtu og draga niður um 2 m í lóninu. Flóðbylgjan frá eðjuhlaupinum varð innan við 1 m á hæð, svo að hún olli engu tjóni. Eðjuhlaupið flutti aftur á móti tugþúsundir lesta af meira og minna brotnum skógi, sem kostaði stórfé að fjarlægja. Öskufall varð ekki mikið á virkjanirnar í Lewis River dalnum. Samt sem áður voru þær

1981-07-23

stöðvaðar hver um sig til að hreinsa spennuvirkin og háspennulínur. Af öryggisástæðum var vatnsborði Swift- miðlunarlónsins haldið 2-3 m neðar en venjulegt er í fullt ár og allur rekstur miðlananna settur undir mjög strangt eftirlit. Við það hefur tapast fallhæð og orkuframleiðslan tapað samhengi við markaðinn. Sá hluti hefur þó verið verulega bættur með orkuskiptum við aðrar virkjanir kerfisins. Pacific Power and Light myndi hafa lent í mikil vandræði með orkuframleiðslu sína hefðu þeir ekki verið samtengdir svona stóru kerfi. Ekki töldu þeir sig hafa orðið vara við neitt óeðlilegt slit á túrbínunum vegna öskunnar né aursins. Mesta tekjutap þeirra var þó af sökum hliðargreina, svo sem sölu veiðileyfa og orlofsaðstæðna við uppistöðulónin og er ekki séð fyrir endan á því, þar sem verulegur hluti dalsins er ennþá talinn hættusvæði.

Það má heita mikið lán í óláni að framhlaupið og sprengigosið St. Helens fór til norðurs en ekki suðurs, því að hefði svo farið hefðu allar virkjanirnar í Lewis River eyðilagst að meira eða minna leyti og eðjuhlaupin farið á hluta borganna Vancouver í Washington og Portland í Oregon, þar sem 1,5 milj. íbúa búa. Auk þess er líklegt að Trojan kjarnorkuverið hefði orðið fyrir hlaupunum.

Engar vatnsaflsvirkjanir eru í árdölunum næst norðan undir St. Helens, þar sem mestu náttúruhamfarirnar urðu þ.e. við Toutle River og Green River. Sprengigosið og eðjuhlaupin lögðu þessa dali í auðn. Þessar ár renna út í Cowlitz River, en í henni eru tvær virkjanir með einu aðal- miðlunarlóni, Mossyrock Dam. Virkjanir þessar eru reistar af U.S. Army Corps of Engineers en reknar af Tacoma City Light.

Hvorki eðjuhlaupin né sprengigosið náðu til Mossyrock Dam en mjög mikið öskufall varð á efri hluta vatnasviðs þess. Mjög miklar reksturstruflanir hafa verið á starfsemi þessara virkjana. Það orsakast af því, að farvegur Cowlitz River fyllist alveg neðan ármóta Toutle River vegna eðjuhlaupanna. Flóðahætta var því mjög mikil, þangað til búið var að grafa og byggja upp árfarveginn að nýju, og er því verki varla lokið enn. Ekki bætti það úr skák að vatnið í Cowlitz River var mjög leir- og meluríkt vegna öskugossins. Vatnshæð í Mossyrock Dam hefur því alfarið verið stýrt með tilliti til flóðahættu, en ekkert með tilliti til orkufram-

1981-07-23

leiðslu, þannig að rennslið hefur verið haft eins mikið og bráðabirgða farvegurinn hefur leyft á hverjum tíma. Aftur á móti hefur verið reynt að bæta þetta upp í orkuskiptum við aðrar virkjanir, þannig að þær hafa safnað vatni í miðlanir, þegar nauðsynlegt hefur verið að draga vatnsborðið sem allra mest niður í Mossyrock Dam og halda áfram frárennslinu stöðugu til að koma sem mestu vatni niðu farveginn.

Öskufallið frá gosinu í St. Helens þ. 18. maí 1980 barst til austurs. Náði það 1-5 sm þykkt á nokkrar virkjanir, uppistöðulón og vatnasvið þeirra. Askan, sem féll á lónin og vatnasvið þeirra, olli ekki neinum verulegum rekstrartruflunum. Vissulega hefur aurburður vaxið verulega í mörgum ám vegna öskunnar og dæmi munu vera um það, að byggðar hafa verið minni háttar stíflur til að safna aurnum á bak við. Í flestum tilfellum er stærð miðlunarlónanna slík, að þau taka auðveldlega við tíma-bundinni aukningu á aurburði, án þess að æfitími þeirra skerðist verulega.

Öskufallið olli aftur á móti verulegum truflunum á rekstri dreifiveitna. Þurr aska truflaði ekki mikið háspennulínur né spennivirkí. Við léttarigningu urðu hins vegar miklar straumtruflanir. Hins vegar hreinsaði hvass vindur og rigning línurnar að nokkru leyti. Í flestum tilfellum varð þó að hreinsa háspennuvirki og einnig línur. Reyndar voru margvíslegar aðferðir við hreinsunina, en eftir því sem ég hef komist næst, reyndist engin þeirra verulega fljótverk né árangursrík, nema háprýstur vatnspvottur. T.d. var reynt að blása öskunni af háspennulínunum úr þyrlum, en árangur reyndist mjög misjafn.

Mikið meiri rekstrartruflanir og beint tjón varð á tiltölulega lágspennunum dreifiveitum. Þar varð töluvert um, að spennar brynnu yfir og útleiðslur og skemmdir yrðu á einangrunum, er leiddi til útsláttar, sérstaklega þegar askan blotnaði og tók nokkurn tíma að hreinsa þær og koma þeim í lag.



1981-07-23

ÁHÆTTUMAT VEGNA ELDVIRKNI

Nú þegar er U.S. Geological Survey farin að gera bráðabirgðakort yfir mismunandi goshættufyrirbæri umhverfis St. Helens og stendur til að gera slíkt áhættumat á ýmsum svæðum nærliggjandi við eldfjöll, sérstaklega með tilliti til mannlífa og þéttbýlissvæða. Pacific Power and Light hefur látið gera bráðabirgða áhættumat fyrir virkjanir sínar í Lewis River og fleiri virkjunarfyrirtæki vinna að hliðstæðu mati. Rætt hefur verið um, að vinna að allsherjar kortlagningu á hættusvæðinu vegna eldvirkni og mismunandi afleiðingum eldgosa. Til þess að leggja slíkt áhættumat á eldvirk svæði þarf margs að gæta og þekkja vel sögu þeirra, virkni og eðli eldsumbrotanna. Síðasta atriðið verður þó lengi erfitt að skilgreina til hlítar, en mikið má þó draga fram frá reynslu sögunnar og við samanburð við önnur svæði.

Nauðsynlegt er að slík áhættukortlagning liggi fyrir um áætlaðar virkjanir (bæði vatnsafl of jarðhita) til þess að taka áhættu-matið með inn í staðarval og ákvörðunartöku um forgangsröðun þeirra. Í þessari greinargerð mun ég ekki leggja fram sundurliðaðar tillögur að slíkri kortlagningu á Íslandi heldur mun ég síðar á þessu ári vinna sjálfstæða greinargerð, þar sem ég mun gera ítarlegar tillögur að því, hvernig ég tel best að slíkri áhættukortlagningu vegna eldvirkni staðið og hvernig mögulegt er að gera samanburðarmat á valkostum.

AÐRIR ÞÆTTIR KYNNISFERÐARINNAR

a) SSARR-reinilíkanið er þróað af River Forecast Center í Portland. Það er notað við rennslis- og flóðaspár. Það hefur þá kosti, að sama reiknilíkanið er hægt að nota bæði við stutt- og langtíma spár, þ.e. fyrir allt frá 2 tímum, fyrir einn sólarhring, vikur eða mánuði. Einnig er hægt að aðhæfa það, hvort sem er einföldu vatnsviði eða samsettum virkjanakerfum. Gagnasöfnun fyrir daglegar eða vikulega spár er einföld, þar sem það notar aðeins hita-og úrkomumælingar sem grundvöll fyrir spánum. Aftur á móti krefst það þess, að forrannsóknir spásvæðanna séu vatnafræðilega mjög vel unnar, því að það byggir mjög mikið á reynsluþekkingu og jafnframt þarf stöðugt reyndur vatnafræðingur að vera með í ráðum við gerð spánna á hverjum tíma, þar sem ákveðnir þættir eru stöðugt lagðir undir hann. Ég mun ekki fara hér nánar út í gerð reiknilíkansins, heldur mun ég kynna það þeim starfsmönnum Orkustofnunar, sem vinna að líkanreikningum.

1981-07-23

b) Nýjung í vatnshæðarmælingum. Hjá Leupold & Stevens, Inc. var mér kynnt nýjung við skráningu á vatnshæð í mælum er þeir framleiða, og mun þessi tækni koma á markaðinn innan skamms, þar sem prófun hennar má heita lokið. Nýjungin er í því fólgin að gömlu vatnshæðarmælarnir eru notaðir óbreyttir, nema í stað penna og pappírs er lítið rafeindatæki tengt gírhjóli mælisins, en það skráir allar hreyfingar flotholtsins inn á segulband. Ekki er nauðsynlegt að taka pennann og pappírinn úr sambandi þó að rafeindatækið sé tengt mælinu, ef það þykir æskilegt. Síðan er skipt um segulband í mælinu á sama hátt og síritarablöð. Niðurstöðurnar á segulbandinu fara síðan inn á tölvu, sem getur skilað þeim hvort sem er í talnaformi, vatnshæðarlínuriti eða beint inn í líkanreikninga. Þetta tæki er einnig þannig útbúið að auðvelt er að tengja það fjarskiptatækni, hvort sem það er með leiðslu eða í lofti. Nákvæmt verð var ekki komið á þessi tæki, en ekki var talið að þau yrðu mjög dýr innan við U.S. \$ 100 stykkið. Ég tel tvímælalaust að þessi tækni eigi að vera næsta skref í þróun vatnshæðarmælinga hér á landi.

c) "Meteor burst" fjarskiptakerfið. Starfsmenn Soil Censervation Service kynntu fyrir mér, hvernig þeir nota þetta kerfi nú í ríkum mæli til gagnasöfnunar frá ýmsum mælistöðvum í vestanverðum Bandaríkjunum og í Alaska. "Meteor Burst" fjarskiptakerfið hefur verið notað af hernum í mörg ár. Því var haldið sem hernaðarleyndamáli þangað til fyrir fjórum árum síðan. Frá þeim tíma hefur notkun þess farið mjög ört vaxandi. Grundvöllur "Meteor burst" kerfisins er sá, að loftsteinahvel gufuhvolfsins er notað til að endurvarpa útvarpsbylgjum eins og nafnið ber með sér, eða réttara sagt endurvarpast útvarpsbylgjur af "jóna" hvelinu sem myndast við það, að loftsteinarnir brenna upp. Við gagnasöfnun frá mælistöðvum er það notað á þann hátt að hver mælistöð er útbúin með senditækjum, sem aðeins senda út, ef kallað er í þær með ákveðnu merki. Síðan er byggð ein allsherjar jarðstöð, og hringt frá henni í allar mælistöðvarnar einu sinni á dag eða svo oft sem þurfa þykir. Mælistöðvarnar svara hringingunni með því að senda inn til jarðstöðvarinnar þær mæliniðurstöður, sem þeim er fyrirlagt. Með þessu kerfi er hægt að safna inn, hvaða upplýsingum og mæliniðurstöðum sem er á sjálfvirkan hátt, og þar með fyrir mjög fjölbætta gagnasöfnun og eftirlit. Kostur þessa kerfis fram yfir gerfitungl er að rásafjöldinn takmarkast aðeins af af-

1981-07-23

kastagetu jarðstöðvarinnar og er óháð breiddargráðum, en notkun gerfitungla er erfið á norðlægum og suðlægum slóðum. Helstu ókostir þessa kerfis er, að það getur orðið fyrir rafsegul-truflunum t.d. frá norðurljósum, eins og aðrar útvarpsstuttbylgjur. Þær truflanir eru þó talðar óverulegar, jafnvel í norðurljósabeltinu í Alaska. Um kostnaðarhlið þessa kerfis hef ég ennþá takmarkaða vitneskju, en það er samt alls ekki talið dýrara, heldur en notkun gerfitungla. Aftur á móti hef ég tilvísun á fyrirtæki, sem framleiða og setja upp svona kerfi og mun ég afla mér upplýsingar um kostnaðarhlið þeirra. "Meteor burst" kerfið vinnur best í 200-500 km fjarlægð frá jarðstöðinni, þó að það geti unnið bæði á skemmri og lengri vegalendum.

Að mínu áliti er rétt fyrir okkur að kynna okkur þessa fjarskiptatækni nánar, því að það er mjög vel hugsanlegt, að það geti hentað mjög vel hér á landi til gagnasöfnunar fyrir marga aðila, sem þarfnast upplýsinga frá afskekktum stöðum. Það verður varla sett upp fyrir einstaka stofnun, heldur þyrftu þær stofnanir, sem hagsmuna hafa að gæta á þessu sviði, að sameinast um slík kerfi. Má þar til nefna auk Orkustofnunar, Landsvirkjun, RARIK, Veðurstofuna, Hafrannsóknarstofnunina, Flugmálastjórn, Vita- og Hafnamálaskrifstofuna, Póst og Síma o.fl. o.fl.

#### LOKAORÐ

Eins og ég hef áður vikið að mun ég vinna aðra greinargerð í tilefni þessarar kynnisferðar, þar sem ég mun kynna tillögur mínar að því, hvernig við getum metið og kortlagt tjónaáhættu fyrir ýmsa staði vegna ýmissa þátta eldvirkinnar. Reikna má með að ýmsar rannsóknir vanti á til að fylla þá mynd, en mikið er til í gögnum og ýmsum heimildum um þau mál.

Ég vil að lokum þakka öllum þeim á Orkustofnun og Iðnaðarráðuneytinu sem veittu mér tækifæri til að fara þessa kynnisferð. Sérstaklega vil ég þakka Donald W. Kuehl fyrir afburða gott skipulag á kynnisdvölinni. Hún reyndist mér ákaflega fróðleg og lærdómsrík, og ég vonast til að mér auðnist að koma árangri hennar þannig til skila, að til gagns megi verða fyrir orkuframleiðslu landsins.

HEIMILDIR

Skrá yfir rit, skýrslur og greinargerðar, sem mér áskotnuðust í kynnisferð minni til St. Helens. Þessi ritverk verða í minni vörslu um sinn, en fara síðan á bókasafn OS.

Application of the SSARR Model to a Basin without Discharge Record.

Eftir Vail Schermerhorn og Donald W. Kuehl. Portland River Forecast Center 1970.

A system Approach to Real-time Runoff Analysis with a Deterministic Rainfall - Runoff Model. Eftir Robert J.C. Burnash og R. Larry Ferral.

California - Nevada River Forecast Office, Sacramento, 1981

Automated Data Processing Techniques in The Water Survey of Canada.

Eftir W.J. Ozga. Environment Canada, Ottawa 1974.

Automated Precipitation Measurements. Eftir Robert J.C. Burnash.

River Forecast Center. Sacramento, 1980.

Channel Conditions in the Lower Toutle and Cowlitz Rivers Resulting from

Mudflows of May 18, 1980. Eftir R.E. Lombard o.fl. Geological Survey Circular 850-c.

Colombia - Cowlitz - Toutle Restoration. Estimated Dredging Requirements

for Flood Control Cowlitz River Channel. Eftir Bobby J. Brown o.fl. U.S. Army Engineer District, Portland 1980.

COSSARR Model. User Manual. Eftir David M. Rockwood o.fl. U.S. Army

Engineer Division, Portland 1972.

Effects of Mount St. Helens Eruption on Selected Lakes in Washington.

Eftir N.P. Dion og S.S. Embrey. Geological Survey Circular 850-G. 1981.

Glacier Dammed Lakes and Outburst Floods in Alaska. Eftir Austin Post

og Lawrence R. Mayo. U.S. Geological Survey, Washington D. C. 1971.

Holocaust. Mount St. Helens. A Diary of Destruction. The Colombian.  
Vancouver, Wash. 1980.

Investigation of Volcanic Ash on Transmission Facilities in the Pacific  
Northwest. Eftir C.F. Sarkinen og J.T. Wiitala. IEEE Transactions  
on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-100, No.5. 1981.

Meteor Burst Communications. Eftir Ray E. Leader, Boeing Company.  
Western Snow Conference 1974.

Model Studies of Mud-Flow Entering Swift Reservoir. Unnið af Western  
Canada Hydraulic Laboratories Ltd. Canada fyrir Pacific Power and  
Light Company, Portland 1980.

Mount St. Helens. Lady with a Past. Eftir Kenneth L. Holmes. Salem  
Press, Oregon 1980.

Mount St. Helens. The Volcano. Ed. J. Richard Nokes. The Oregonian  
Publishing Company, Portland 1980.

Mount St. Helens. Volcanic-Ash Fall in the Bull Run Watershed, Oregon,  
March-June 1980. Eftir Michael V. Shulters og Daphne G. Clifton.  
Geological Survey Circular 850-A.

Mudflows Resulting from the May 18, 1980 Eruption of Mount St. Helens,  
Washington. Eftir John Cummins. Geological Survey Circular 850-B.

Northwest Power Pool Coordinating Group. Information on Mount St. Helens  
Ash. 1980.

Operational Experience with the Snotel System. Eftir Manes Barton og  
Arthur G. Crook. Soil Conservation Service, Portland 1980.

Operational Streamflow Forecasting with the SSARR Model. Eftir Vail  
Schermmerhorn og Donald W. Kuehl. Portland River Forecast Center,  
1968.

- Relations between Topography and Annual Precipitation in Western Oregon and Washington. Eftir Vail P. Schermerhorn. River Forecast Center, Portland 1967.
- Respons of Glaciers to the Eruptions of Mount St. Helens. Eftir Melinda M. Brugman og Mark F. Meier, U.S. Geological Survey, Tacoma 1981.
- SNOTEL. Monitoring Climatic Factors to Predict Water Supplies. Eftir Arthur G. Crook. Soil Censervation Service, Portland, 1977.
- SNOTEL. Wave of the Present. Eftir Arthur G. Crook. Soil conservation Service, Portland, 1977.
- SSARR Model. Program Description and User Manual. U.S. Army Engineer Division, Portland, 1975.
- Study of Effects of Potential Volcanic Activity on Lewis River Projects. Pacific Power and Light Company, Portland 1980.
- The Effects of the Mount St. Helens Eruption on Water Resources. Pacific Northwest River Basin Commission, Vancouver, Wash. 1980.
- The 1980 Eruptions of Mount St. Helens. Effect of Ash Thickness on Snow Ablation. Eftir Carolyn L. Driedger. U.S. Geological Survey, Tacoma, 1981.
- Utilizing the National Weather Service's Dynamic Wave Model on the Lower Colombia River During the Mount St. Helens Event. Eftir Charles E. Orwig, River Forecast Center, Portland, 1980.
- Volcano. The Eruption of Mount St. Helens. Longview Publishing Company og Madrona Publishers. Seattle, 1980.
- Volume Forecasts Using the SSARR Model in a Zone Mode. Eftir Donald W. Kuehl River Forecast Center, Portland, 1979.