



MANNVIT



RANNSÓKNARSKÝRSLA

HUGBÚNAÐUR TIL STÆRÐARÁKVÖRÐUNAR VEGRÆSA

VERKEFNI UNNIÐ MEÐ STYRK ÚR RANNSÓKNARSJÓÐI VEGAGERÐARINNAR ÁRIÐ 2015

MARS 2016

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

Efnisyfirlit:

1. Inngangur	1
2. Aðferðarfræði	4
3. Mat á hugbúnaði	4
3.1 HEC-RAS	6
3.2 HY-8	6
3.3 Hydraflow Express	6
4. Niðurstöður hermana	8
4.1 Dýpi framán við vegræsi	8
4.2 Dýpi við úttök vegræsa	9
4.3 Straumhraði við úttök vegræsa	9
4.4 Bakvatnshæð	10
4.5 Inn- eða útstreymisstýring	10
5. Val á hentugasta hugbúnaðinum til hönnunar vegræsa	12
Heimildir	13

Töfluskrá:

Tafla 1.	Upplýsingar um vegræsi og hermanir	5
Tafla 2.	Samanburður á forritunum HEC-RAS, HY-8 og Hydraflow Express	7

Myndaskrá:

Mynd 1.	Dæmigert rennsli í gegnum vegræsi við innstreymisstýringu (FHWA, 2012).	2
Mynd 2.	Dæmigert rennsli í gegnum vegræsi við útstreymisstýringu (FHWA, 2012).	2
Mynd 3.	Venslarit fyrir dýpi við inntak steypst hringlaga ræsis við innstreymisstýringu.....	3
Mynd 4.	Flæðirit til ákvörðunar á hvort nota eigi jöfnur fyrir inn- eða útstreymisstýringu.....	11
Mynd A-1.	Dýpi framan við ræsi, Geiradalsá (steypur bogi á sökklum).	A
Mynd A-2.	Dýpi framan við ræsi, Gervidalsá (gamla ræsi, tveir stálhólkar).	A
Mynd A-3.	Dýpi framan við ræsi, Svínadalsá (stálbogi á sökklum).	A
Mynd A-4.	Dýpi framan við ræsi, Hverá (fjórir plasthólkar).....	A
Mynd B-1.	Dýpi við úttak ræsis, Geiradalsá (steypur bogi á sökklum).	B
Mynd B-2.	Dýpi við úttak ræsis, Gervidalsá (tveir stálhólkar).	B
Mynd B-3.	Dýpi við úttak ræsis, Svínadalsá (stálbogi á sökklum).	B
Mynd B-4.	Dýpi við úttak ræsis, Hverá (fjórir plasthólkar).	B
Mynd C-1.	Straumhraði við úttak, Geiradalsá (steypur bogi á sökklum).	C
Mynd C-2.	Straumhraði við úttak, Gervidalsá (tveir stálhólkar).	C
Mynd C-3.	Straumhraði við úttak, Svínadalsá (stálbogi á sökklum).	C
Mynd C-4.	Straumhraði við úttak, Hverá (fjórir plasthólkar).....	C
Mynd D-1.	Dýpi bakvatnssniðs, Geiradalsá (steypur bogi á sökklum).	D
Mynd D-2.	Dýpi bakvatnssniðs, Gervidalsá (tveir stálhólkar).	D
Mynd D-3.	Dýpi bakvatnssniðs, Svínadalsá (stálbogi á sökklum).	D
Mynd D-4.	Dýpi bakvatnssniðs, Hverá (fjórir plasthólkar).	D
Mynd E-1.	Vatnsdýpi framan við inntak ræsis í Geiradalsá reiknað fyrir inn- og útstreymisstýringu í forritunum HY-8 og HEC-RAS og einnig brúarham HEC-RAS.	E
Mynd E-2.	Vatnsdýpi framan við inntak ræsis í Gervidalsá reiknað fyrir inn- og útstreymisstýringu í forritunum HY-8 og HEC-RAS.....	E
Mynd E-3.	Vatnsdýpi framan við inntak ræsis í Svínadalsá reiknað fyrir inn- og útstreymisstýringu í forritunum HY-8 og HEC-RAS.....	E
Mynd E-4.	Vatnsdýpi framan við inntak ræsis í Hverá reiknað fyrir inn- og útstreymisstýringu í forritunum HY-8 og HEC-RAS.....	E

1. Inngangur

Fjöldi vegræsa má finna undir þjóðvegum landsins, allt frá minni röraræsum sem flytja litla læki undir vegi að stórum hálfbogaræsum sem reist hafa verið til að flytja flóð í ám undir vegi. Þó að vegræsi líti út fyrir að vera einföld mannvirki getur rennsli um þau verið af margvíslegum toga, t.d. hefur bandaríska stofnunin USGS skilgreint 18 mismunandi rennslisætti (e. flow types) í vegræsum (FHWA, 2012). Þá geta rennslisættir verið breytilegir fyrir sama vegræsið eftir rennslismagni og bakvatnshæð.

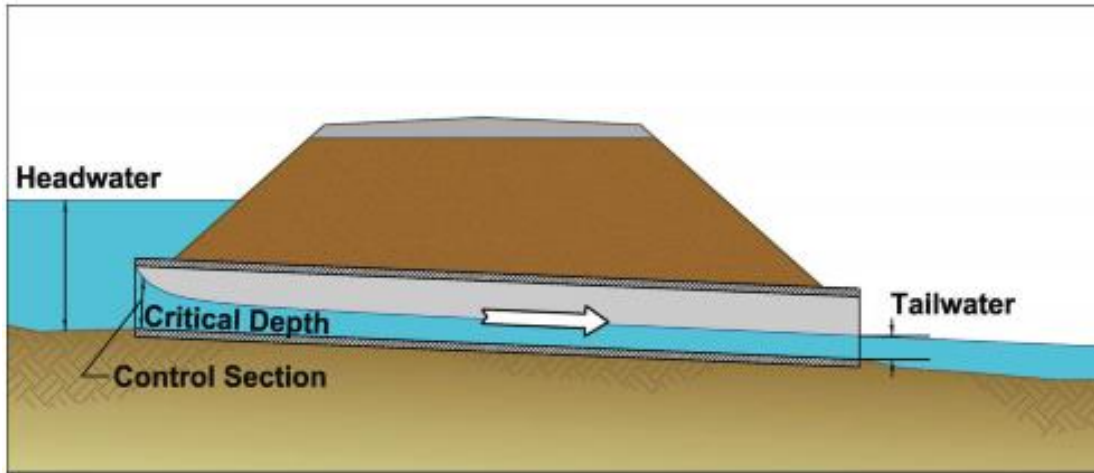
Fyrsta skrefið við hönnun vegræsis er að ákvarða hönnunarflóð fyrir vatnasvið. Næsta skref er að finna hagkvæmasta ræsið sem ber flóðið. Áður enn lengra er haldið er rétt að minnst þess að líklega er meiri óvissa á ákvörðun hönnunarflóða en flutningsgetu vegræsa. Á það við hér á landi sem og erlendis. Á Íslandi eru hönnunarflóð áætluð út frá úrkomumælingum, með rökrænu líkingunni eða skölun á rennslisröðum fyrir mæld vatnsföll. Báðar aðferðirnar byggja á úrkömugögnum með skammtímaupplausn sem eru af skornum skammti hér á landi (Jónas Elíasson, 2012). Takmarkið með notkun hugbúnaðar til hönnunar vegræsa verður því að lágmarka þá óvissu sem er til staðar og gera mannvirkið sem hagkvæmast í byggingu.

Flutningsgeta vegræsa ræðst m.a. af þversniðsflatarmáli, lögun, halla, lengd, hryfi og frágangi við inntak og enda. Aðstæður neðan ræsis eru auk fyrrgreindra þátta mikilvægar því hæð bakvatns stýrir því hvort vegræsið fyllist. Við útreikninga er vegræsum skipt í tvo flokka, eftir því hvort flutningsgeta þeirra ræðst af aðstæðum við inntak eða enda ræsis. Mynd 1 sýnir dæmigert rennsli við innstreymisstýringu. Ráðandi þversnið er við inntak, vatnsdýpi er lítið við eða rétt fyrir innan inntak og rennsli strítt (e. supercritical) í gegn um vegræsið. Aðstæður neðan ræsis hafa ekki áhrif á flutningsgetu vegræsa við innstreymisstýringu. Mynd 2 sýnir dæmigert rennsli við útstreymisstýringu, þegar þversnið vegræsisins flytur minna en inntakið leyfir. Við útstreymisstýringu er ráðandi þversnið við úttak eða í bakvatni.

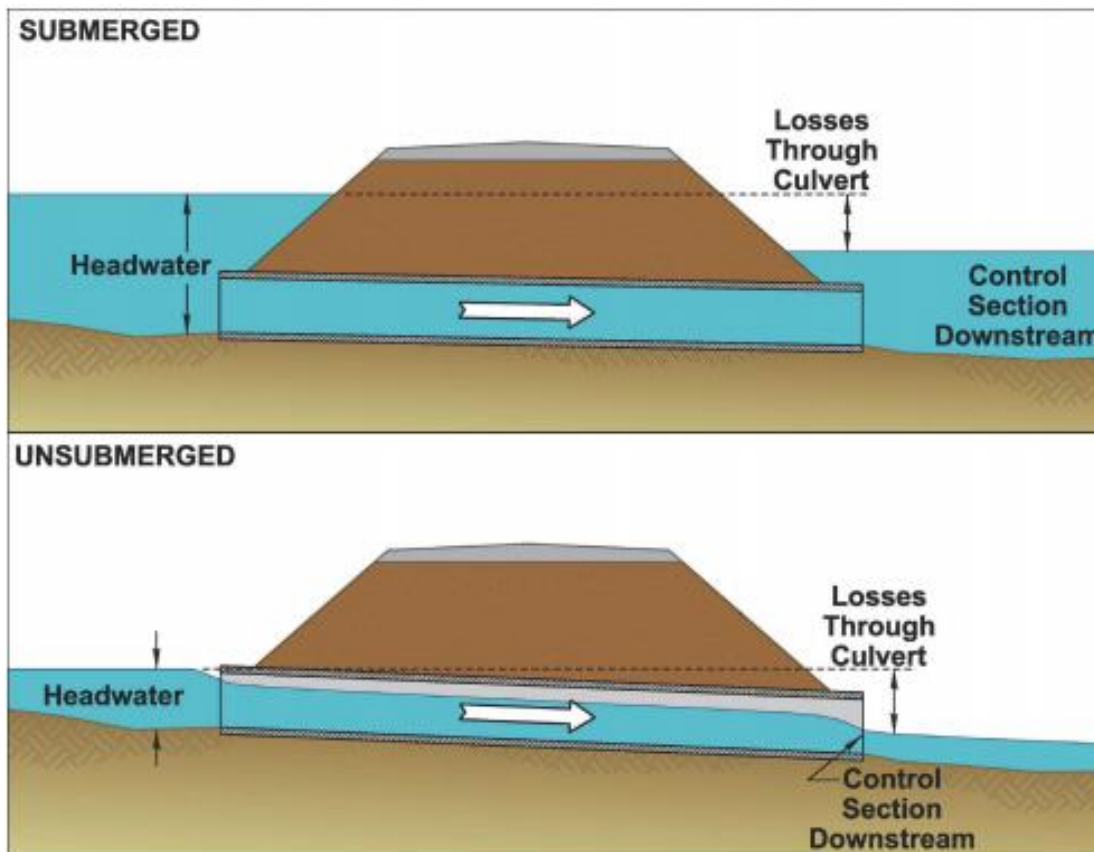
Venja er fyrir því að ákvarða flutningsgetu vegræsa handvirkt með venslaritum (e. nomographs) sem byggð eru á bandarískum tilraunum frá 7. áratug síðustu aldar. Venslarit fyrir hringlaga og ferhyrnd þversnið voru birt í riti frá norsku Vegagerðinni árið 1965 og hafa þau verið notuð við hönnun vegræsa hér á landi. Venslarit fyrir fleiri tegundir vegræsa, t.d. sporöskjulaga ræsi, bogaræsi og jöfnur til útreikninga má finna í hönnunarhandbókinni HDS 5 (FHWA, 2012). Á mynd 3 má sjá venslarit fyrir dýpi við inntak steyptra hringlaga vegræsa við innstreymisstýringu.

Það getur verið hentugt að nota þar til gerðan hugbúnað við stærðarákvörðun vegræsa því aflestur af venslaritum er takmarkandi, ekki er hægt að áætla straumhraða með þeim og venslarit eru ekki til fyrir mjög stór vegræsi eða hálfbogaræsi á steypnum sökklum eins og reist hafa verið hérlendis. Gert er ráð fyrir 2% lengdarhalla í vegræsunum og leiðréttu þarf aflestur ef halli er annar. Við handútreikninga er hætt á innsláttarvillum, þeir eru tímafreakir og flóknir, sérstaklega ef straumstökk verða í ræsum. Hafa ber í huga, að straumfræðiþekking auðveldar notkun hugbúnaðar við hönnun ræsa og gerir notendur líklegri til þess að koma auga á ósennilegar niðurstöður vegna rangrar uppsetningar í forritum.

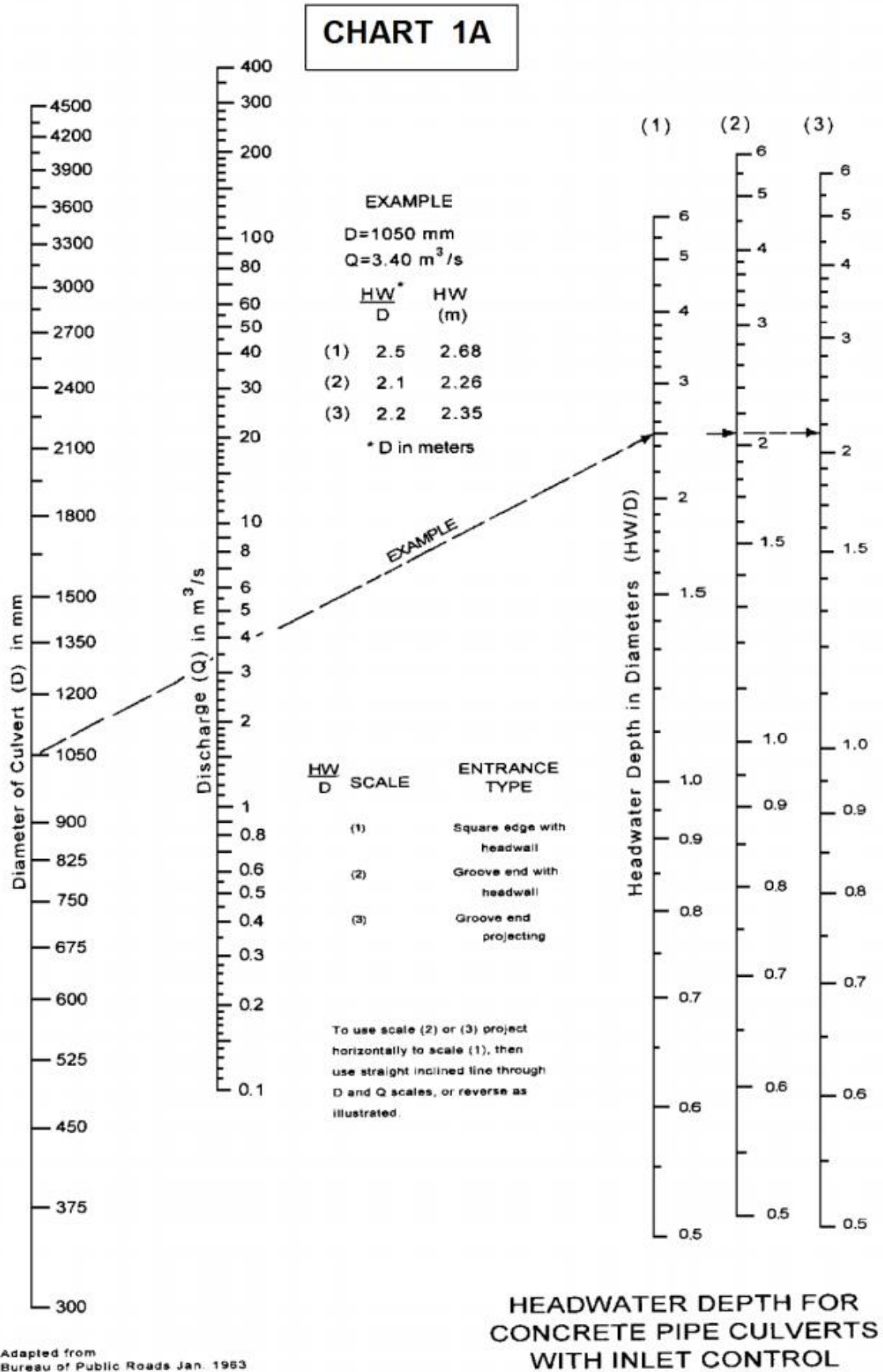
Verkefnið „Hugbúnaður til stærðarákvörðunar vegræsa“ fékk styrk úr rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar árið 2015. Markmið verkefnisins er að finna hentugan hugbúnað sem hönnuðir geta treyst á til ákvörðunar á stærð vegræsa. Verkefnið var unnið af Lilju Oddsdóttur hjá Mannviti. Fyrir hönd Vegagerðarinnar komu að verkefninu Kristján Kristjánsson og Halldór S. Hauksson.



Mynd 1. Dæmigert rennsli í gegnum vegræsi við innstreymisstýringu (FHWA, 2012).



Mynd 2. Dæmigert rennsli í gegnum vegræsi við útstreymisstýringu (FHWA, 2012).



Mynd 3. Venlarit fyrir dýpi við inntak steypis hringlaga ræsis við innstreymisstýringu (FHWA, 2012).

2. Aðferðarfræði

Verkefnið fólst í því að finna og skoða hugbúnað sem býður upp á útreikninga fyrir vegræsi, meta kosti og galla, auk þess að bera hönnun vegræsa með hugbúnaði saman við lestur af venjaritum fyrir mismunandi vegræsi.

Eftirfarandi þættir voru hafðir í huga við mat á hugbúnaði:

- Notendaviðmót hugbúnaðar
- Kostnaður hugbúnaðar
- Niðurstöður hermana

Halli og þversnið árfarvega voru unnin úr landlíkanabútum frá Vegagerðinni í forritinu InRoads. Þversnið vegræsa voru fengin af teikningum Vegagerðarinnar. Árfarvegir og vegræsi voru fyrst sett upp í HEC-RAS, upplýsingar um halla árfarvega og þversnið í bakvatni voru sett upp með sama hætti í öllum forritum.

Í töflu 1 má finna upplýsingar um vegræsin sem skoðuð voru í verkefninu og einnig hvaða hermanir voru skoðaðar í forritunum við mat á niðurstöðum. Vegræsi í Geiradalsá er steiptur bogi á steiptum fleti, í Gervidalsá var gamalt þversnið skoðað, tveir stórir stálhólkar, fjórir plasthólkar í Hverá og í Svínadalsá er ræsið langur stálbogi á steiptum sökklum sem stendur á klöpp.

Hringlaga vegræsi hafa vel verið rannsökuð og eru eitt dæmigerðra þversniða sem skoðuð voru. Aftur á móti er bogi á steiptum sökklum ekki dæmigert ræsþversnið í forritunum. Rennsli í gegn um bogaræsi var hermt á þrjá vegu, eftir því sem næst kemst raunaðstæðum í hverju forriti. Bogaræsi var skilgreint með hnitum í HY-8, staðlaður bogi í HEC-RAS (e. arch) og sem ferhyrnt þversnið með sama flatarmál og bogi á steiptum sökklum. Ferhyrningslaga þversniðið var eins upp sett í öllum forritunum. Til samanburðar við hermanir var lesið af venjaritum 1A, 2A, 8A (FHWA, 2012) og 41A (FHWA, 2001) en ekki leiðrétt vegna halla í gengum vegræsi.

Vakin er athygli á því að botnhryfi í hermunum fyrir bogaræsi í Svínadalsá var valið það sama og fyrir árfarveginn ($n = 0,030$), hærra en botnhryfi ferhyrningslaga þversniðsins ($n = 0,012$), þar sem boginn stendur á klöpp. Í hermunum var ekki tekið tillit til þess að vegræsið liggur skáhalt undir veginn.

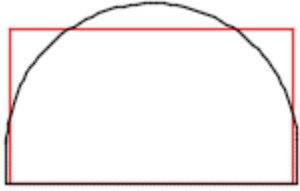
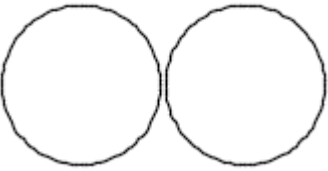

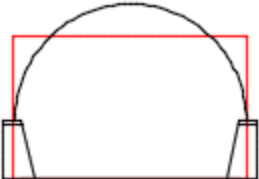
3. Mat á hugbúnaði

Thiele (2007) setti upp fjögur tilvik fyrir hringlaga vegræsi í 7 forritum og bar niðurstöður á dýpi aðvatsn við inn- og útstreymisstýringu og straumhraða við úttak saman við handútreikninga. Fyrir þessar tilteknu hermanir komu forritin HEC-RAS, HY-8 og Culvert Master best út en forritin BCAP, Culvert, Hydraflow Express og FishXing gáfu rangar niðurstöður í einhverjum tilfella.

Í þessu verkefni voru vegræsi sett upp í þremur forritum; HEC-RAS 4.1.0, HY-8 7.3 og Hydraflow Express. Þversnið, halli og lengd vegræsanna sem skoðuð voru eru frábrugðin þeim í rannsókn Thiele. Val á hugbúnaði til skoðunar byggðist aðallega á auðveldu aðgengi, HEC-RAS og HY-8 eru gjaldfrjáls og Hydraflow Express er viðbót við teikniforritið AutoCad Civil 3D. Upphaflega stóð til að hafa forritin Culvert Master og Storm and Sanitary Analysis (önnur viðbót við AutoCad Civil 3D) með í úttekt á hugbúnaði en eftir 30 daga reynslutímabil var það mat skýrsluhöfundar að Culvert Master hefði lítið fram yfir HY-8 annað en myndræna framsetningu. Vegna kostnaðar var ekki haldið áfram með hermun í Culvert Master, eitt leyfi er selt á \$1057 (mars 2016). Eftir prófanir í Storm and Sanitary Analysis var niðurstaða skýrsluhöfundar að uppsetning vegræsa í forritinu væri óaðgengileg.

HEC-RAS, HY-8 og Hydraflow Express eru borin saman í töflu 2. Forritin eiga það öll sameiginlegt (ásamt Culvert Master) að hægt er að slá inn upplýsingar í SI einingum fyrir vegræsi með hringlaga, ferhyrnt, boga- og sporöskjulaga þversnið, eitt ræsi eða fleiri eins hlið við hlið. Í öllum forritunum byggja útreikningar á ritinu HDS 5 (FHWA, 2012). Mismunurinn liggur í því hvernig jöfnurnar eru færðar inn í reikniverkið og hvort boðið er upp á einhverjar aukaágerðir í hugbúnaðnum.

Tafla 1. Upplýsingar um vegræsi og hermanir.

Á	Geiradalsá		Gervidalsá		Hverá		Svínadalsá	
	Bogi	Ferhyrnt	Hringlaga		Hringlaga		Bogi	Ferhyrnt
Þversnið								
Fjöldi eins þversniða	1	1	2		4		1	1
Þversniðsflatarmál [m²]	22,4	22,4	20,4		8,0		16,9	16,9
Hæð þversniðs [m]	4,1	3,5	3,6		1,6		3,9	3,2
Breidd þversniðs [m]	6,6	6,4	3,6		1,6		5,3	5,3
Lengd vegræsis [m]	37		20		20		64	
Halli vegræsis [m/m]	0,010		0,043		0,010		0,016	
Manning n í ræsi, botn	0,012		0,024		0,011		0,030	0,012
Manning n í ræsi, veggir	0,012		0,024		0,011		0,012	
Inntakstap	0,5		0,5		0,5		0,5	
Hæð vegræsis við inntak [m y.s.]	3,3		3,1		0,6		128	
Veghæð [m y.s.]	10,4		8,0		3,9		138	
Halli farvegar, bakvatn [m/m]	0,007		0,010		0,008		0,010	
Manning n í farvegi	0,030		0,030		0,030		0,030	
HEC-RAS	já („arch“)	já	já		já		já („arch“)	já
HY-8	já (hnit)	já	já		já		já (hnit)	já
Hydraflow Express	nei	já	já		já		nei	já
Venslarit (flokkur)	41A (2)	8A (2)	2A (1)		1A (1)		41A (2)	8A (2)

Í eftirfarandi texta eru gefnar grunnupplýsingar um þau þrjú forrit sem tekin voru fyrir í verkefninu og notkun þeirra. Frekari upplýsingar má finna í handbókum hvers hugbúnaðar fyrir sig, sjá FHWA (2014) og USACE (2010) í heimildum.

3.1 HEC-RAS

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) er hannað til greininga á straumvötnum. Möguleiki er á að setja upp net árfarvega, herma æstæð (e. steady) og tímaháð flóð, aurburð, efnadreifingu, ásamt því að skoða áhrif mannvirkja á vatnshæð í þversniðum. Hægt er að skoða niðurstöður þversnið fyrir þversnið, niður allan árfarveginn og auðvelt er að sjá hvaða þversnið neðan vegræsis er ráðandi/krítískt aftan við ræsi.

Uppsetning vegræsis í HEC-RAS er mun tímafreakari en í hinum forritunum sem skoðuð voru og marga stika þarf að skilgreina sem hugsanlega eru óþekktir þegar hanna á vegræsi. Þó það taki sinn tíma að skilgreina sjálfur þversnið og fasta í útreikningum gerir það að verkum að notandinn er meðvitaður um forsendur útreikninganna. Í hinum forritunum þarf að leita í leiðbeiningum með forritunum eftir því hvað stendur á bakvið gefna valmöguleika. Leiðbeiningar með HEC-RAS eru ítarlegar og góðar.

Sérstæða HEC-RAS, hvað varðar greiningu á vegræsum, er möguleikinn á að skoða vegræsi sem hluta af heildarmynd fyrir tiltekna á sem getur verið hentugt, t.d. ef önnur mannvirki eru í sama farvegi. Hægt er að velja mismunandi hrýfi fyrir botn og vegg fyrir öll þversnið (í HY-8 er það ekki valmöguleiki fyrir öll þversnið). Kemur sá valmöguleiki t.d. að notum þegar annað efni er í botni en vegg ræsis og þegar herma á flutningsgetu eldri ræsa og botnhrýfi hefur breyst. Kostur í uppsetningu og þegar niðurstöður útreikninga í HEC-RAS eru skoðaðar er að skýringar birtast á skjánum þegar bendli er haldið yfir reitum.

3.2 HY-8

HY-8 er forrit frá bandarísku stofnuninni FHWA (Federal Highway Administration), þeirri sömu og tók saman hönnunarhandbókina HDS 5 fyrir vegræsi. Uppsetning í hugbúnaðnum er einföld og fljótleg. Hlekkir í uppsetningarglugganum færa notendur á réttan stað í leiðbeiningum með forritinu og myndræn framsetning á lang- og þversniði sýnir hvort vegræsið hafi verið skilgreint rétt. Útreikningar fyrir innstreymisstýringu byggja á 5. gráðu margliðum sem brúa línulega skiptingu milli jafna HDS-5 áður og eftir að inntak fer á kaf (e. submerged inlet).

HY-8 hefur að minnsta kosti tvennt fram yfir HEC-RAS. Uppsetning er mun einfaldari og niðurstöður útreikninga er auðvelt að flytja úr HY-8 og t.d. yfir í Excel. Boðið er upp á að skilgreina þversnið vegræsa með hnitum sem gerir notendum kleift að herma önnur þversnið en þau sem eru stöðluð í flettluggum HY-8, HEC-RAS og Hydraflow Express. Venslarit er notað fyrir útreikninga á dýpi við inntak fyrir hnitskilgreind þversnið við innstreymisstýringu, aflestur er háður flatarmáli og hæð þversniðs.

3.3 Hydraflow Express

Forritið Hydraflow Express er einfaldast af þeim sem skoðuð voru, skýringarmynd er sýnd samhliða uppsetningu sem auðveldar notkun forrísins mjög. Hjálpin er hnitmiðuð og myndræn framsetning góð, nútímalegri en í HY-8. Auk vegræsamöguleikans er boðið upp á útreikninga fyrir hönnunarflóð, opna farvegi, niðurföll og yfirföll.

Ekki er boðið upp á ásýnd á skilgreint þversnið sem er valmöguleiki í hinum forritunum. Helsti ókostur við forritið er óáreiðanleiki, vandkvæði komu upp við ræsiu hugbúnaðarins. Einnig þarf notandi sjálfur að skilgreina skilyrði fyrir vatnshæð í bakvatni þegar vegræsi er sett upp. Velja þarf á milli krítíks eða normaldýpis, dýpi = $(dc+D)/2$ eða fasts dýpis áður en reikningar eru framkvæmdir en ekki er útskýrt hvað liggur þar að baki.

Tafla 2. Samanburður á forritunum HEC-RAS, HY-8 og Hydraflow Express.

	Hugbúnaður	HEC-RAS 4.1.0	HY-8 7.3	Hydraflow Express
Almennt	Útgáfa	4.1.0	7.3	-
	Framleiðandi / Höfundur	US Army Corps of Engineers	Federal Highway Administration	AutoCad Civil 3D viðbót (Intelisolve)
	Kostnaður	enginn	enginn	fylgir Civil 3D
	Virkni	góð	góð	opnast ekki alltaf
Valmöguleikar í uppsetningu	Hringlaga, ferhyrnt, ellipsulaga þversnið	já	já	já
	Beygður hólkur (e. pipe arch)	já	já	já
	Bogar (e. Arch, Metal Box, Low/High Profile)	já	já	já
	Hálfhringur, "Con Span"	já	já	-
	Þversnið skilgreint með hnitum	ef hermi sem brú	já, 19 punktar	nei
	Mismundandi hryfi f. botn/vegg	já	f. sum þversnið	nei
	Fall í ræsi (e. broken back)	já	já	nei
	Skásett m.v. veg	já	nei	nei
	Inntak í annari hæð en farvegur	já	já	nei
	Tapliðir fyrir inn- og úttak skilgreindir	já	já, skilgr. í texta	já, skilgr. í texta
	Farvegur bakvatns skilgr. trapisa, þríh., ferh.	með hnitum	já	nei
	Farvegur bakvatns skilgr. með hnitum	já	já	nei
	Bakvatn samkvæmt reynnslislykli	já	já	nei
	Bakvatnshæð fasti	já	já	já
Eins ræsi hlið við hlið	já	já	já, en mest fjögur	
Mismunandi þversnið ræsa hlið við hlið	já	já	nei	
Útreikningar	Inn- og útstreymisstýring	já	já	já
	Rennsli þegar fullt	já	já	-
	Straumstökk	já	já	já
	Jöfnur fyrir innstreymisstýringu	HDS 5	5. gráðu margliður	HDS 5
Niðurstöður	Ásýnd á langsníð	já	já	já
	Ásýnd á þversnið	já	já	nei
	Þrívíð ásýnd	já	nei	nei
	Straumhraði við inntak	já	sjáum ekki	sjáum ekki
	Straumhraði við úttak	já	já	ekki alltaf réttur
	Auðvelt að afrita niðurstöður	frekar	já	frekar
Annað	Ákvörðun á hönnunarflóði	nei	nei	já fyrir USA
	Athugun á hættu á rofi við úttak	-	f. hringl./ferh.	-
	Straumbrjótur (e. energy dissipators)	-	f. hringl./ferh.	-
	Takmarkandi þversnið í bakvatni	sjáum	notandi þarf að skilgreina	
	Hugbúnaður ákvarðar hvaða jöfnu fyrir bakvatn	já	já	nei, notandi
	Hönnun með hliðsjón af öðrum mannvirkjum	já	nei	nei

4. Niðurstöður hermana

Samanburður var gerður á niðurstöðum þriggja forrita fyrir fjögur vegræsi, sjá upplýsingar í töflu 1. Myndir sem sýna niðurstöður hermana og aflestur af venstaritum má finna í viðaukum A, B, C, D og E.

Eftirfarandi niðurstöður voru skoðaðar við mismikið rennsli:

- A. Dýpi framan við vegræsi
- B. Dýpi við úttök vegræsa
- C. Straumhraði við úttök vegræsa
- D. Bakvatnshæð
- E. Inn- eða útstreymisstýring

Við hönnun vegræsa er vatnshæð framan við inntak reiknuð og með henni er áætlað hve mikið rennsli vegræsið flytur áður en vatn byrjar að flæða yfir veginn. Straumhraði við úttök vegræsa er oft hærri en straumhraði í óhreyfðum árfarvegi. Hætta getur því verið á rofi og ástæða til þess að skoða straumhraða við úttök við hönnun. Bakvatn hefur áhrif á dýpi við úttök vegræsis, hvort þversnið ræsis fyllist og þar með hvort nota eigi jöfnur fyrir inn- eða útstreymisstýringu til útreikninga vatnshæð við inntak.

4.1 Dýpi framan við vegræsi

Fyrir hringlaga vegræsi í Gervidalsá (mynd A-2) og Hverá (mynd A-4) var lítil munur á aflestri af venstaritum og niðurstöðum hermana. Aftur á móti var munur á niðurstöðum hermana fyrir bogaræsin í Geiradalsá (mynd A-1) og Svínadalsá (mynd A-3).

Hermanir í HY-8 og HEC-RAS benda til þess að fyrir gefið rennsli verði dýpi framan við ferhyrningslaga þversnið minna en fyrir uppsett bogalaga þversnið með sama þversniðsflatarmál. Í uppsetningu var breidd ferhyrnra þversniða valin sú sama eða aðeins styttri en breidd bogaræsanna (sjá töflu 1). Mismunandi hæð ferhyrnings- og bogalaga ræsa með sama þversniðsflatarmál verður til þess að þangað til vatnshæð nær toppi bogaræsis er hluti ferhyrningslaga þversniðsins, sem nýtist til flutnings, stærri. Þetta er hluti ástæðu þess að hermd vatnshæð framan við vegræsi í Geiradalsá og Svínadalsá er lægri fyrir ferhyrnd þversnið en bogalaga þversnið fyrir gefið rennsli. Við uppsetningu bogaræsis í Svínadalsá var botnhryfi valið hærra en fyrir ferhyrnra þversniðið. Eykur það á mismun niðurstaðna fyrir bogalaga og ferhyrnt þversnið, vegna aukinnar mótstöðu tapast orka í gegn um ræsið og vatnshæð stígur hraðar upp með auknu rennsli framan við inntak.

Með aflestri af venstaritum fást sömu niðurstöður og í hermunum í HEC-RAS og HY-8, að flutningsgeta ferhyrningslaga þversniðs í Geiradalsá og Svínadalsá sé meiri en fyrir uppsett bogalaga þversnið. Lausnin á venstariti 41A fyrir stálplötuboga er sögð rétt fyrir hlutfall hæðar og breiddar á bilinu 0,3-0,4 og innstreymisstýringu. Samkvæmt hermunum HY-8 er innstreymisstýring í bogaræsunum en hlutfall hæðar og breiddar er 0,6 fyrir Geiradalsá og 0,7 fyrir Svínadalsá, þau uppfylla ekki skilyrði fyrir venstarit 41A. Því kom það á óvart hversu vel aflestri af venstariti 41A ber saman við hermanir HY-8 og HEC-RAS.

Aflestur af venstariti 8A fyrir ferhyrnd steipt þversnið ætti að gefa góða nálgun á dýpi framan við ferhyrnd vegræsi í farvegum Svínadalsár og Geiradalsár. Betri fyrir Svínadalsá því halli vegræsis er nær stöðluðum halla venstaritanna. Þó að halli plasthólka í Hverá sé minni en staðlaður halli venstarita (2%) og halli tvöfalt meiri fyrir stálhólka í Gervidalsá gefa venstarit 1A og 2A niðurstöður mjög sambærilegar hermunum HY-8 og HEC-RAS á dýpi framan við inntak.

Fyrir Geiradalsá og Svínadalsá reiknast dýpi framan við ferhyrnd þversnið vegræsa í Hydraflow Express svipað og fyrir bogaræsi í HY-8 og HEC-RAS. Er lausn Hydraflow Express því varfærin miðað við ferhyrnd þversnið HY-8 og HEC-RAS. Dýpi framan við vegræsi reiknast eins í Hydraflow Express hvernig bakvatnsaðstæðum er stillt upp. Það er sýnt á mynd A-4 fyrir Hverá en fyrir Geiradalsá, Gervidalsá og Svínadalsá í viðauka A eru niðurstöður Hydraflow Express aðeins sýndar fyrir dýpi $(dc+D)/2$ í bakvatni.

Það að dýpi framán við vegræsi breytist ekki í útreikningum Hydraflow Express sama hvernig aðstæðum í bakvatni er stillt upp fer heim og saman með innstreymisstýringu.

Á mynd A-3 vekur það athygli að lögun þversniðs hefur meiri áhrif á dýpi framán við vegræsi samkvæmt útreikningum í HEC-RAS en í HY-8. Upp að veghæð reiknast vatnshæð svipuð fyrir bogalaga þversnið í HEC-RAS og HY-8, aðeins lægri fyrir ferhyrnt þversnið í HY-8 en nokkuð mikið lægri fyrir sama ferhyrnda þversniðið í HEC-RAS. Uppsetning í HEC-RAS er mun ítarlegri og útreikningar gerðir fyrir þversnið sem skilgreina árfarveginn ofan og neðan ræsis. Erfitt er að segja til um hvaða lausn er rétt en ljóst er að bak við niðurstöður HEC-RAS liggja meiri upplýsingar en niðurstöður í forritunum HY-8 og Hydraflow Express.

4.2 Dýpi við úttök vegræsa

Gott samræmi var með niðurstöðum HY-8 og HEC-RAS fyrir dýpi við úttök vegræsa í Geiradalsá, Gervidalsá og Hverá en aftur er ósamræmi í niðurstöðum fyrir Svínadalsá, líkast til vegna ólíkrar uppsetningar fyrir bogalaga og ferhyrnt þversnið eins og skýrt var í kafla 4.1. Í hermunum fyrir Svínadalsá (mynd B-3) má sjá samræmi með niðurstöðum fyrir bogalaga þversnið í HY-8 og HEC-RAS annars vegar og hins vegar fyrir ferhyrningslaga þversnið í HY-8, HEC-RAS og Hydraflow Express með normal og krítskt dýpi sem skilyrði í bakvatni.

Á niðurstöðum Hydraflow Express á dýpi við úttök vegræsa sést glögg að skilgreint dýpi í bakvatni skiptir máli. Notandinn þarf sjálfur að velja á milli sjálfgefinnar stillingar dýpi = $(dc+D)/2$, normal eða krítsks dýpis í forritinu. Keyrsla Hydraflow Express með dýpi = $(dc+D)/2$ í bakvatni gefur hærri vatnshæð við úttak en aðrar hermanir. Sjálfgefni valmöguleikinn væri réttur ef ræsið væri fullt stóran hluta af lengd, en ætti ekki að nota sem jaðarskilyrði þegar inntakið er ekki komið á kaf (e. submerged inlet).

4.3 Straumhraði við úttök vegræsa

Í hermunum var straumhraði við úttak mjög hár fyrir öll vegræsin, yfir 5 m/s, sem gefur ástæðu til þess að hafa áhyggjur af rofi neðan við vegræsin. Halli vegræsa og árfarvega í verkefninu ætti að vera nálægt raunaðstæðum, þar sem þau eru fengin úr landlíkanabútum. Raungildi botnhryfis, inntakstapa og veghæðar gætu hins vegar verið eitthvað verið frábrugðin þeim sem notuð voru í verkefninu og sýnd eru í töflu 1. Því er ekki víst að straumhraði sé jafn hár og niðurstöður hermana í Viðauka C benda til.

Sjá má að í Svínadalsá (mynd B-3) reiknast straumhraði í HEC-RAS og HY-8 lægri fyrir bogaræsi en ferhyrnt þversnið. Það er vegna herra botnhryfis í bogaræsinu og fer það saman með niðurstöðum sem sýndu hærri vatnshæð framán við inntak fyrir bogaræsin (mynd A-3).

Í Gervidalsá var samræmi gott milli niðurstaða HEC-RAS og HY-8. Upp að rennsli 90 m³/s var samræmi milli niðurstaða hermana HY-8 og HEC-RAS á straumhraða við úttak í Geiradalsá og Svínadalsá en fyrir aukið rennsli reiknast straumhraði aðeins hærri í HEC-RAS. Skýrist það á vali á inn- og útstreymisstýringu í HEC-RAS, sjá nánar í kafla 4.5.

Fyrir Geiradalsá og Svínadalsá var straumhraði við úttak vegræsa í Hydraflow Express í góðu samræmi við niðurstöður HY-8 og HEC-RAS þegar dýpi í bakvatni var valið normal eða krítskt. Í öðrum tilfellum var straumhraði við úttak reiknaður í Hydraflow Express lægri en útreikningar í HY-8 og HEC-RAS.

Í Hverá (mynd C-4) vex straumhraði nánast línulega með rennsli samkvæmt útreikningum HY-8 en niðurstöður úr HEC-RAS sýna mun lægri straumhraða fyrir rennsli 5 og 10 m³/s, straumhraða svipaðan og samkvæmt HY-8 fyrir 15 -25 m³/s og svo aukningu fyrir rennsli 30 m³/s. Langsnið í HEC-RAS sýnir straumstökk inni í vegræsinu fyrir rennsli 10 m³/s sem færir upp fyrir inntak við 15 m³/s, skýrir það hækkun á straumhraða þegar farið er úr 10 í 15 m³/s. Straumstökk inni í ræsinu verður ekki samkvæmt niðurstöðum í HY-8 og Hydraflow Express. Líklega hentar HEC-RAS best til útreikninga fyrir Hverá.

4.4 Bakvatnshæð

Lítill munur var á hermdri bakvatnshæð í HY-8 og HEC-RAS fyrir Svínadalsá og Gervidalsá en í Geiradalsá og Hverá reiknaðist bakvatn hærra í HEC-RAS en HY-8. Kom það á óvart því bakvatnssnið úr HEC-RAS voru skrifuð út og færð yfir í HY-8. Hér hefur stærð líkans í HEC-RAS líklega með að gera, því HEC-RAS „sér“ lengra niður fyrir vegræsin en HY-8 og hentar betur þegar líkur eru á bakvatnsáhrifum.

Í Hydraflow Express skilgreinir notandi sjálfur jaðarskilyrði fyrir bakvatn.

4.5 Inn- eða útstreymisstýring

Í venslaritum 1A, 2A, 8A og 41A er gert ráð fyrir innstreymisstýringu. Hermanir í HY-8 og Hydraflow Express sýna að innstreymisstýring var notuð til útreikninga fyrir öll ræsi í öllum tilvikum. Í niðurstöðutöflum í HEC-RAS sést hins vegar fram, að upp að ákveðnu rennsli séu jöfnur fyrir útstreymisstýringu notaðar og þá skipt yfir í innstreymisstýringu. Fyrir útreikninga í Geiradalsá og Svínadalsá segir í niðurstöðum í HEC-RAS að fyrir $Q < 90 \text{ m}^3/\text{s}$, í Gervidalsá $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$ og í Hverá $Q < 25 \text{ m}^3/\text{s}$ sé útstreymisstýring í ræsunum en innstreymisstýringu fyrir meira rennsli.

Í viðaukum B og C má sjá breytingu á niðurstöðum úr HEC-RAS þegar skipt er úr útstreymis- yfir í innstreymisstýringu. Reiknað dýpi við úttök lækkar miðað við niðurstöður HY-8 fyrir $Q > 90 \text{ m}^3/\text{s}$ (sjá myndir B-1 og B-3) og straumhraði eykst miðað við niðurstöður úr HY-8 (sjá myndir C-1, C-3 og C-4). Engin breyting sést í niðurstöðum á vatnshæð við úttak og straumhraða fyrir Gervidalsá við $20 \text{ m}^3/\text{s}$.

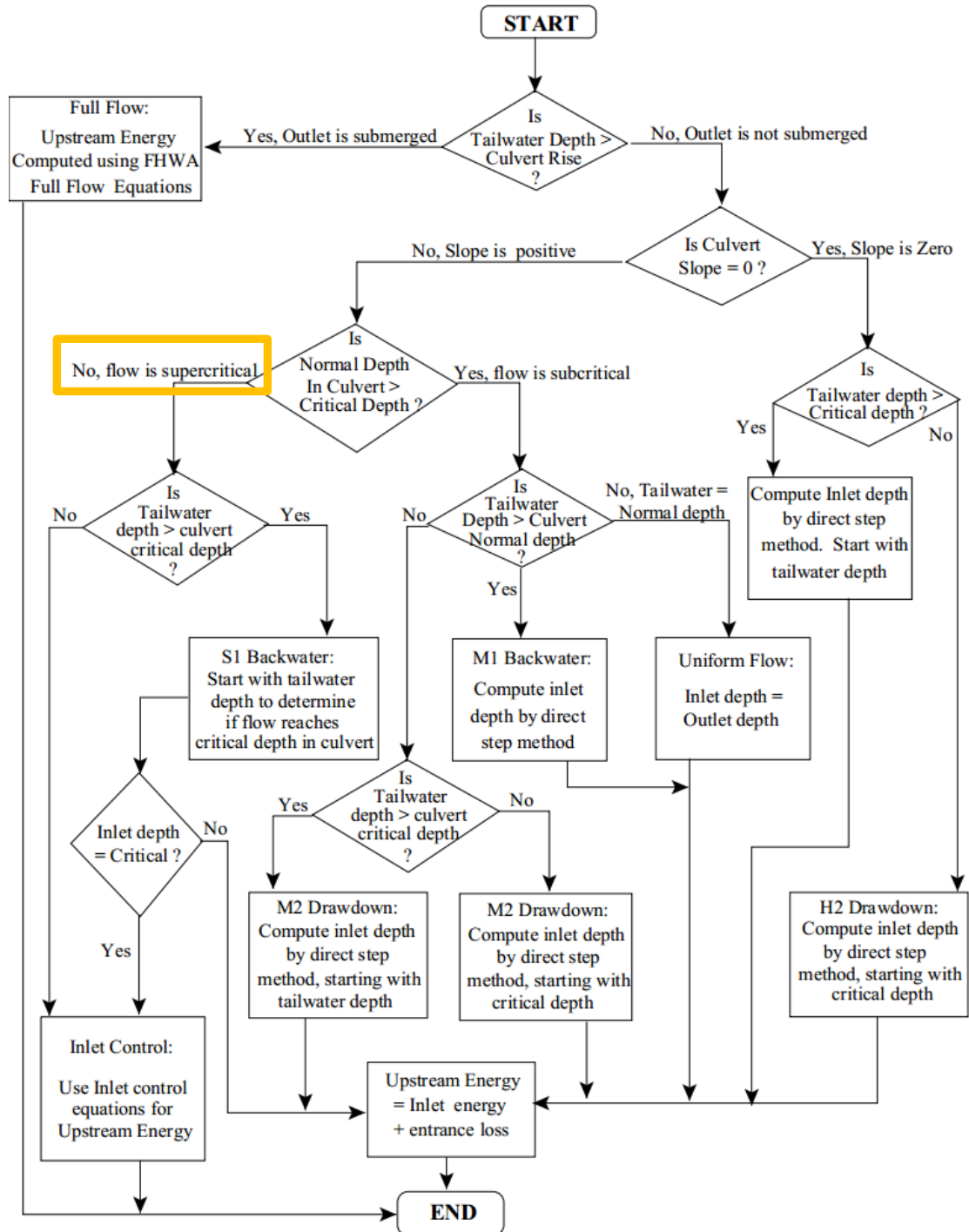
Myndir í viðauka E sýna samanburð á reiknuðu dýpi framan við inntak ræsa reiknað með inn- og útstreymisstýringu í HEC-RAS og HY-8 fyrir Geiradalsá, Gervidalsá, Svínadalsá og Hverá. Lítill munur er á lausnum HEC-RAS hvort sem inn- eða útstreymisstýring er notuð en í HY-8 reiknast dýpi við inntak nokkuð lægra fyrir útstreymisstýringu. Því er ljóst að þótt niðurstöður í HEC-RAS séu merktar útstreymisstýringu eru útreikningar ekki eins og fyrir útstreymisstýringu í HY-8. Ástæða þessa ósamræmis er vandfundin í notendahandbókum forritanna.

Ef farið er með niðurstöður útreikninga í HEC-RAS á normaldýpi, krítísku dýpi og bakvatnsdýpi í flæðirit á mynd 4 á að vera hægt að finna út hvers vegna forritið velur að nota útstreymisstýringu. Rennsli er strítt (e. supercritical) í gegnum ræsin sem skoðuð voru, því má byrja á þeirri spurningu vinstra megin á flæðiritinu. Næst er spurt hvort bakvatnshæð sé hærri en krítískt dýpi í vegræsinu.

Fyrir Hverá er hægt að staðfesta skiptingu í HEC-RAS úr útstreymisstýringu yfir í innstreymisstýringu við $25 \text{ m}^3/\text{s}$, því þá verður bakvatnshæð lægri en krítískt dýpi í ræsinu. Fyrir rennsli lægra en $20 \text{ m}^3/\text{s}$ gefur flæðiritið útstreymisstýringu, samhljóma niðurstöðutöflum úr HEC-RAS. eru þær niðurstöður líklega réttari en þær sem HY-8 og Hydraflow Express gefa.

Aftur á móti er óljóst og verður ekki skýrt í þessu verkefni af hverju HEC-RAS flokkar rennsli lægra en $90 \text{ m}^3/\text{s}$ í gegnum ræsi í Svínadalsá og Geiradalsá og rennsli lægra en $20 \text{ m}^3/\text{s}$ í Gervidalsá sem útstreymisstýringu.

Fyrir bogaræsið í Geiradalsá var sett upp brúarlíkan í HEC-RAS til samanburðar við útreikninga forritsins í ræsam. Á mynd E-1 má sjá að samræmi er milli niðurstöða forritsins á vatnshæð framan við mannvirkið hvort sem boginn er settur upp sem vegræsi eða brú, sér í lagi fyrir rennsli $Q > 90 \text{ m}^3/\text{s}$. Styður það útreikninga HEC-RAS í ræsam.



Mynd 4. Flæðirit til ákvörðunar á hvort nota eigi jöfnur fyrir inn- eða útstreymisstýringu í HEC-RAS (USACE, 2010).

5. Val á hentugasta hugbúnaðinum til hönnunar vegræsa

Niðurstöður verkefnisins benda til þess að góð nálgun fái á dýpi framan við vegræsi með aflestri af venslaritum, einnig fyrir stór bogaræsi. Ef ástæða þykir ekki til þess að skoða aðra þætti við hönnun standa venslaritin enn fyrir sínu. Bent er leiðbeiningar um hvernig leiðréttu eigi aflestur af venslaritum fyrir vegræsi sem hafa annan halla en 2%, þær má finna í kafla 3.3.4 í HDS-5 (FHWA, 2012).

Mælt er með notkun HY-8 til stærðarákvörðunar vegræsa ef skoða á:

- dýpi framan við inntak
- vatnshæð við úttak
- straumhraða við úttak

Uppsetning vegræsa er einföld og fljótleg í HY-8 þegar notandinn er kominn upp á lag með það. Síðustu ár hafa endurbætur verið gerðar á hugbúnaðinum, bæði á notendaviðmóti og reikniverki. Í nýjustu útgáfu, 7.4 Beta, er búið að bæta við möguleika til að herma ferðir fiska og annarra lífvera um vegræsi (e. aquatic organism passage) sem í samanburði Thiele (2007) var sérstæða FishXing.

Mælt er með notkun HEC-RAS fram yfir HY-8 við hönnun vegræsa þegar:

- ástæða þykir til þess að hafa áhyggjur af bakvatnsáhrifum eða straumhraða við inntak
- ef fleiri mannvirki eru í sama árfarvegi
- ef brú er í sama sniði
- ef vegræsið sem hanna á er á stærð við brú eða ef þversnið breytist með lengd (þá er mælt með að nota brúarham HEC-RAS)

Þrátt fyrir hugsanlega villu við ákvörðun á inn- eða útstreymisstýringu í HEC-RAS er mælt með notkun forritsins við fyrrgreindar aðstæður. Það er gert þar sem ekki var mikill munur á niðurstöðum HEC-RAS á dýpi framan við inntak hvort sem niðurstöður voru merktar inn- eða útstreymisstýringu og útreikningar HEC-RAS í brúarham gáfu sambærilegar niðurstöður fyrir bogaræsi. Vegna bakvatns voru hermanir trúverðugari í HEC-RAS heldur en HY-8 fyrir eitt ræsanna sem skoðuð voru í verkefninu.

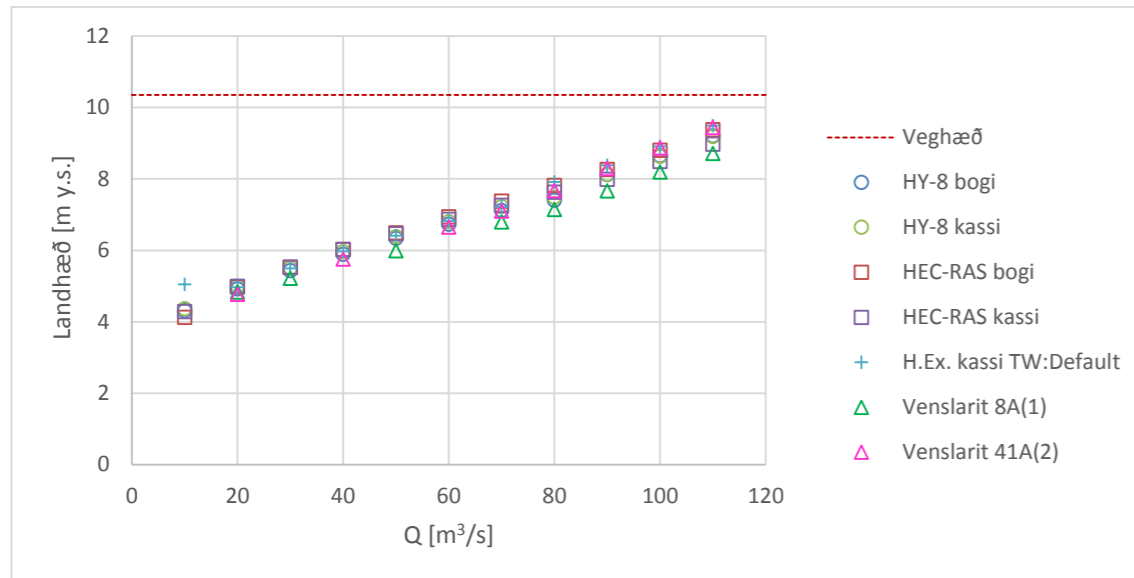
Í verkefninu reyndi ekki á alla rennslíshætti í gegn um vegræsi (e. flow types), til staðfestingar á að HY-8 og HEC-RAS séu hentugasti hugbúnaðurinn til stærðarákvörðunar vegræsa má horfa til úttektar Thiele (2007) þar sem forritin tvö voru í hópi þeirra sem skiluðu réttustu niðurstöðunum.

Þrátt fyrir að notendur yrðu fljótir að læra á Hydraflow Express getur skýrsluhöfundur ekki mælt með hugbúnaðinum fram yfir HY-8 eða HEC-RAS. Möguleikar til uppsetningar eru færri, niðurstöður óáreiðanlegar og villumeldingar komu upp sem komu í veg fyrir að hægt væri að ræsa forritið.

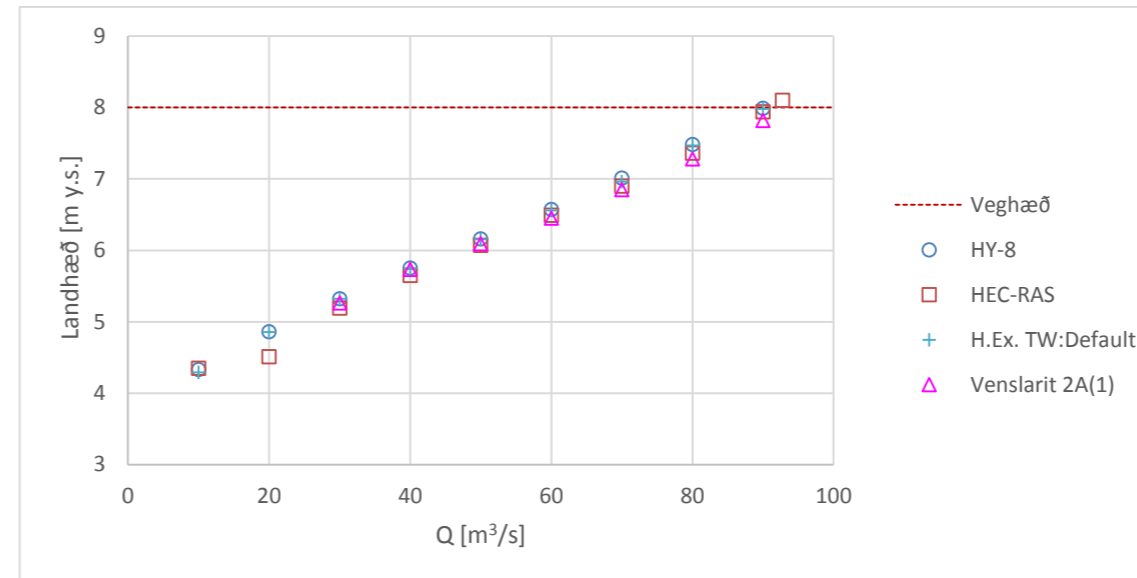
Heimildir

- FHWA (Federal Highway Administration). 2001. Hydraulic design of highway culverts, HDS 5 (2. útgáfa).
Skýrsla: FHWA-NHI-01-020.
- FHWA (Federal Highway Administration). 2012. Hydraulic design of highway culverts, HDS 5 (3. útgáfa).
Skýrsla: FHWA-HIF-12-026.
- FHWA (Federal Highway Administration). 2014. HY-8 User Manual (Version 7.3).
- Jónas Elíasson. 2012. Handbók fyrir hönnunarflóð á Íslandi. (Vinnueintak, 3 stig).
- Norska Vegagerðin (Statens Vegvesen). 1965. Drenering for vegar. Meddelesle nr. 22. Höf.: Overingeniør
R. S. Nordal.
- Thiele, Elizabeth Anne. 2007. Culvert Hydraulics: Comparison of Current Computer Models. All Theses
and Dissertations. Paper 881.
- USACE (US Army Corps of Engineers). 2010. HEC-RAS River Analysis System – Hydraulic Reference
Manual. Version 4.1.

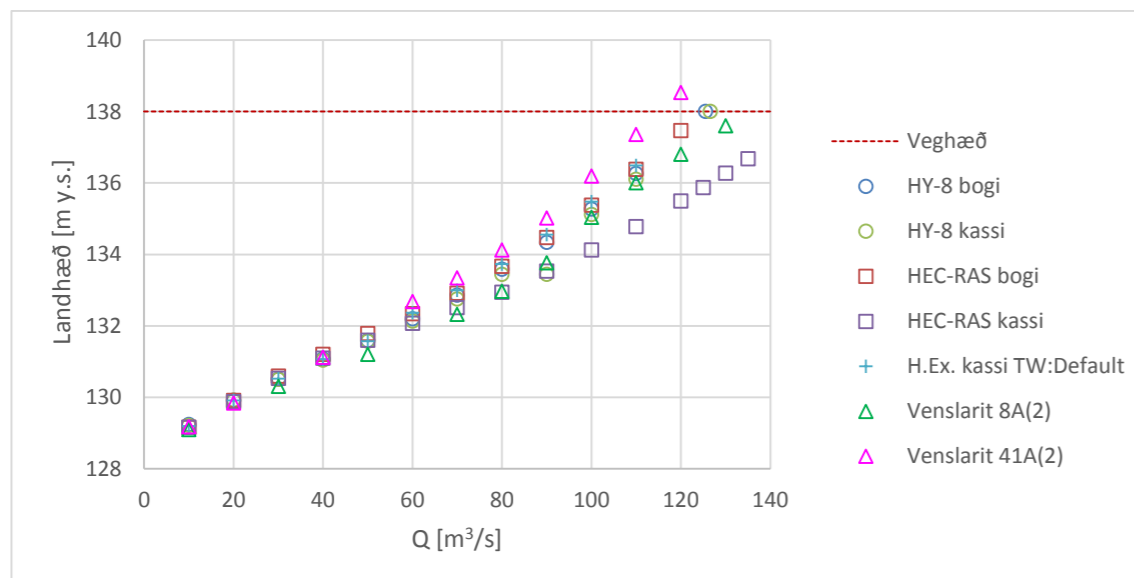
Viðauki A Dýpi framan við vegræsi



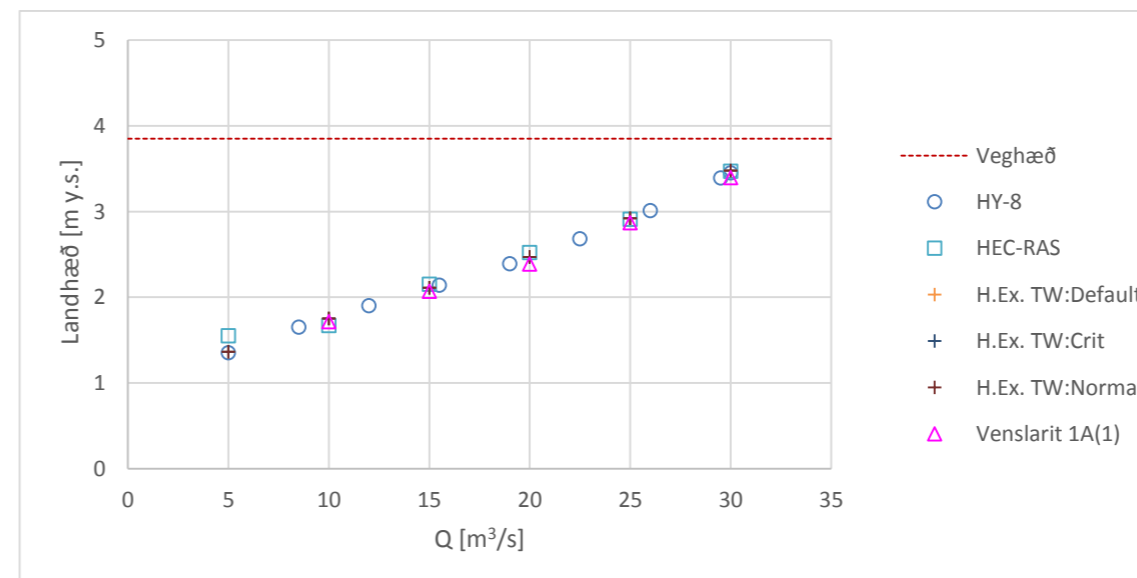
Mynd A-1. Dýpi framan við ræsi, Geiradalsá (steypur bogi á sökklum).



Mynd A-2. Dýpi framan við ræsi, Gervidalsá (gamla ræsi, tveir stálhólkar).



Mynd A-3. Dýpi framan við ræsi, Svínadalsá (stálbogi á sökklum).



Mynd A-4. Dýpi framan við ræsi, Hverá (fjórir plasthólkar).

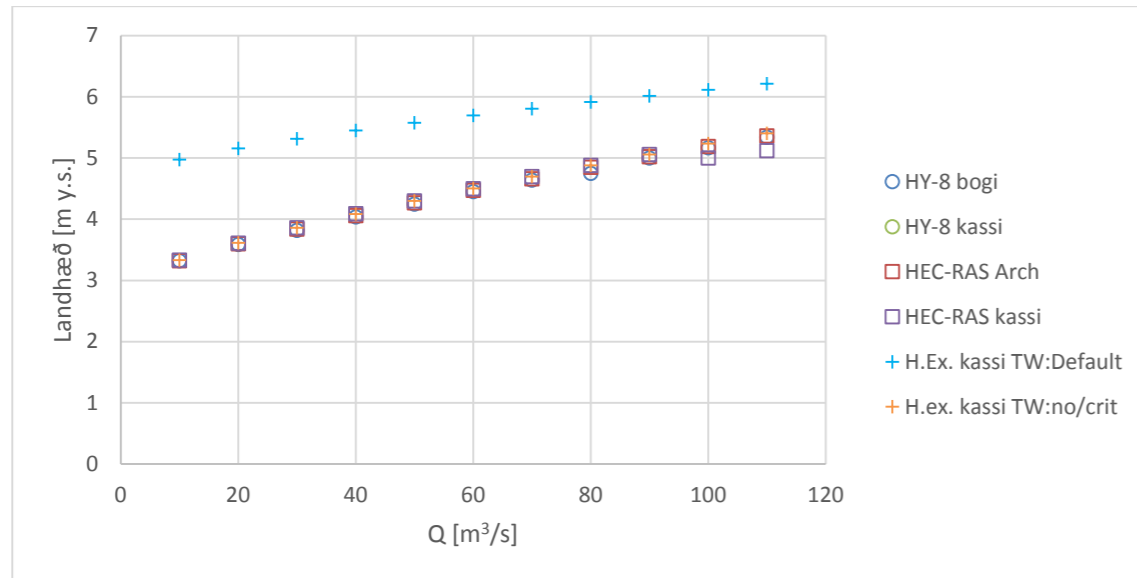
Skýringar:

Landhæð [m y.s.] Vatnshæð framan við vegræsi í landhæð, í metrum yfir sjó
Q [m³/s] Rennsli í gegn um vegræsi í m³/s

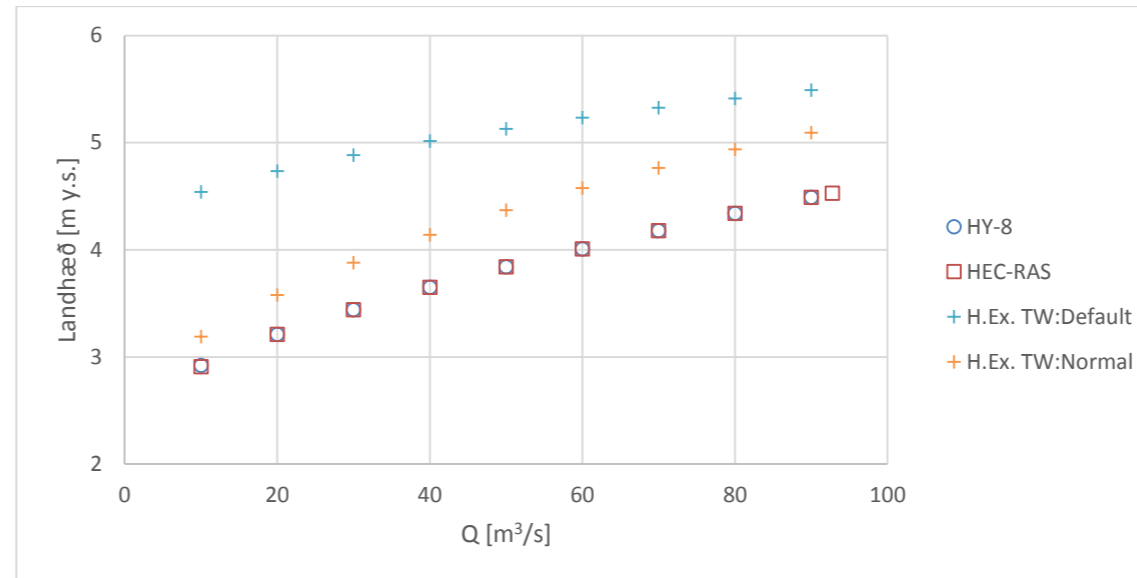
H.Ex. TW:Default Hydraflow Express keyrt með dýpi = (dc+D)/2 í bakvatni
H.Ex. TW:Crit Hydraflow Express keyrt með krítískt dýpi (dc) í bakvatni
H.Ex. TW:Normal Hydraflow Express keyrt með normaldýpi í bakvatni

Venslarit 1A(1) Venslarit fyrir steypit hringlaga vegræsi, inntaksgerð nr. 1
Venslarit 2A(1) Venslarit fyrir hringlaga vegræsi úr stáli, inntaksgerð nr. 1
Venslarit 8A(2) Venslarit fyrir steypit ferhyrnd vegræsi, inntaksgerð nr. 2
Venslarit 41A(2) Venslarit fyrir bogalaga vegræsi, inntaksgerð nr. 2

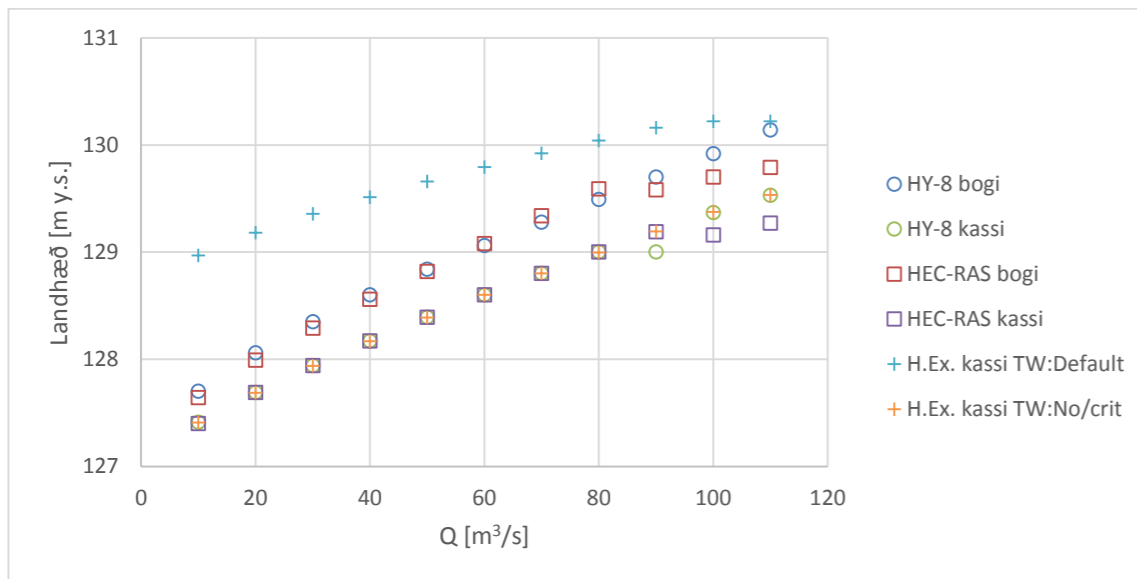
Viðauki B Dýpi við úttök vegræsa



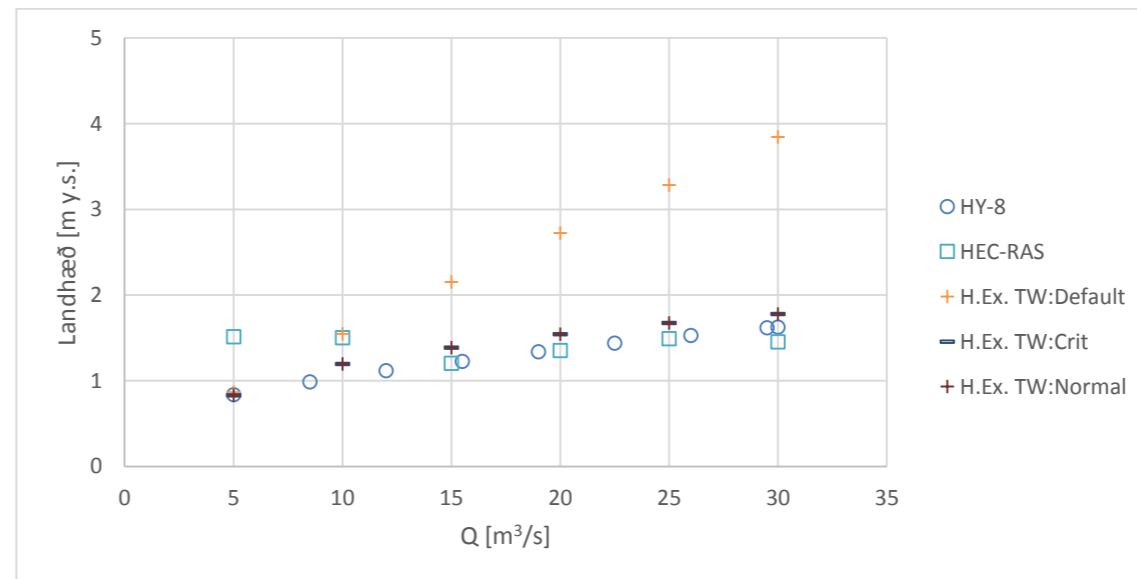
Mynd B-1. Dýpi við úttak ræsis, Geiradalsá (steypur bogi á sökklum).



Mynd B-2. Dýpi við úttak ræsis, Gervidalsá (tveir stálhólkar).



Mynd B-3. Dýpi við úttak ræsis, Svinadalsá (stálbogi á sökklum).



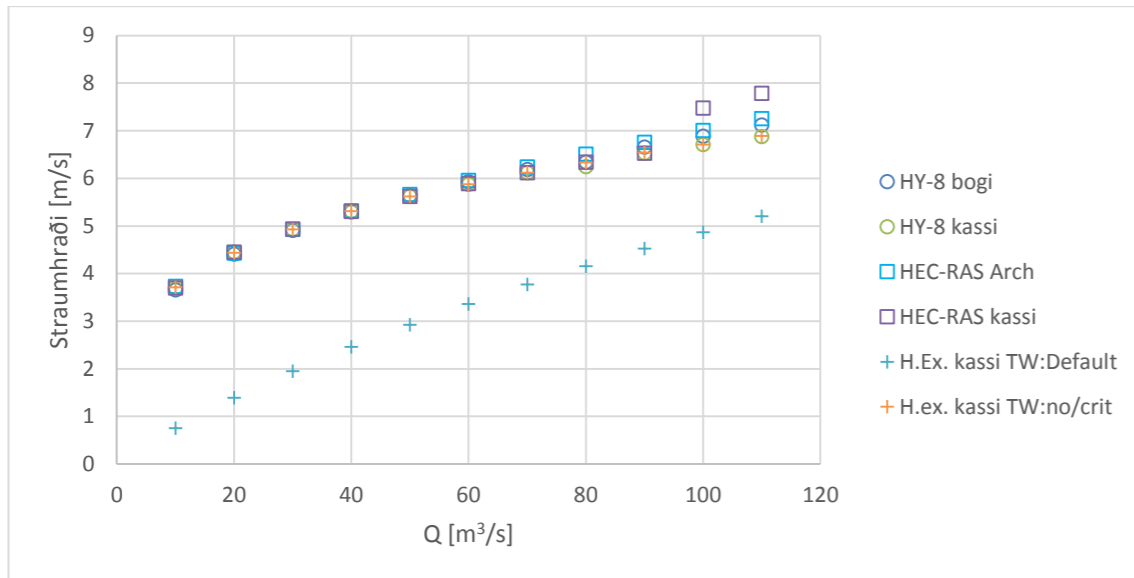
Mynd B-4. Dýpi við úttak ræsis, Hverá (fjórir plasthólkar).

Skýringar:

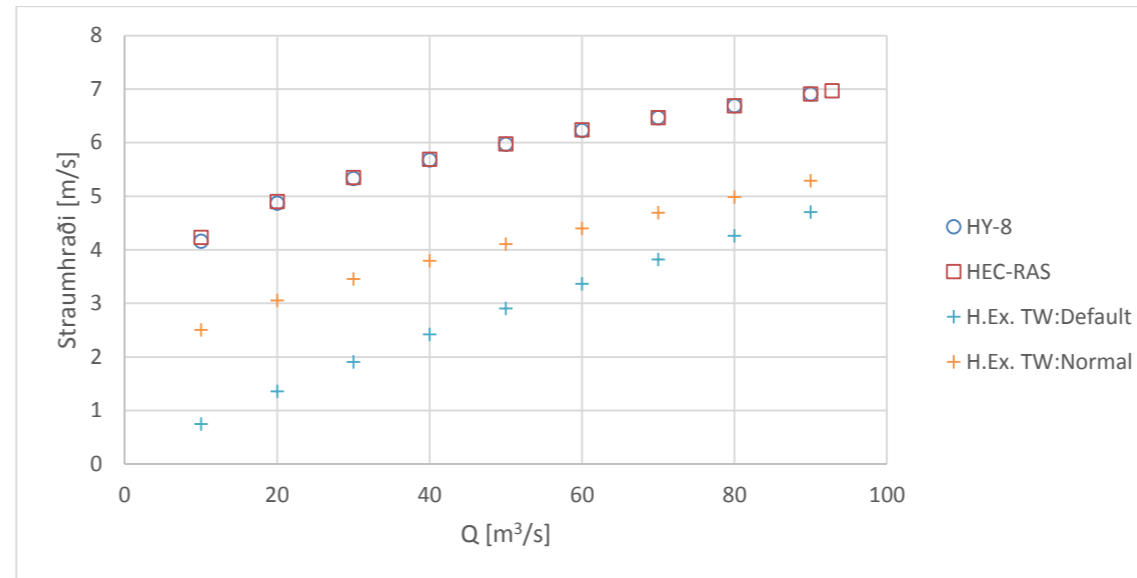
Landhæð [m y.s.] Vatnshæð framan við vegræsi í landhæð, í metrum yfir sjó
Q [m³/s] Rennsli í gegn um vegræsi í m³/s

H.Ex. TW:Default Hydraflow Express keyrt með dýpi = $(dc+D)/2$ í bakvatni
H.Ex. TW:Crit Hydraflow Express keyrt með krítískt dýpi (dc) í bakvatni
H.Ex. TW:Normal Hydraflow Express keyrt með normaldýpi í bakvatni

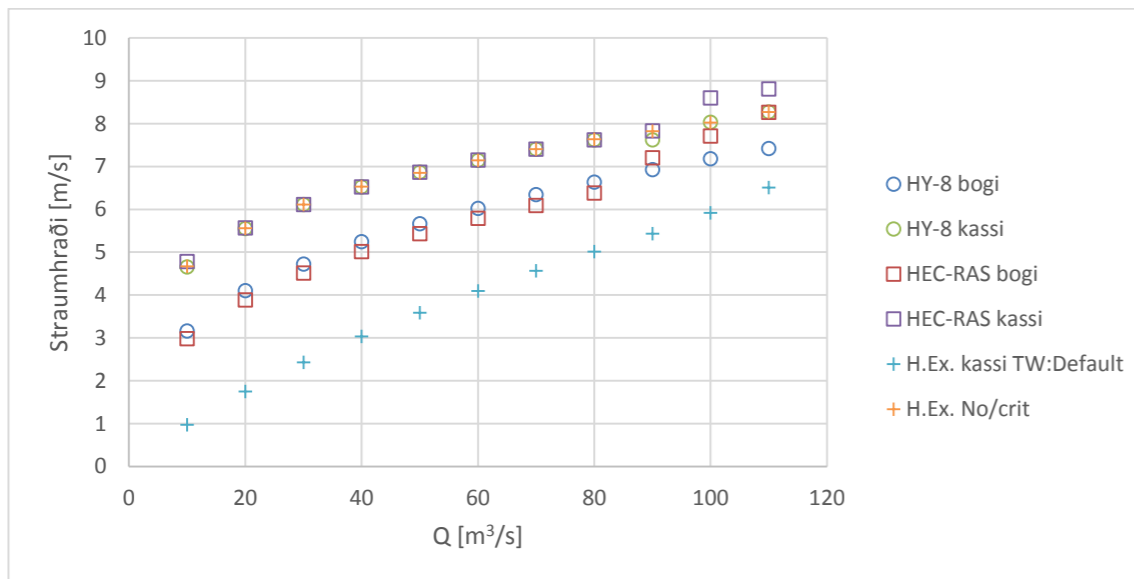
Viðauki C Straumhraði við úttök vegræsa



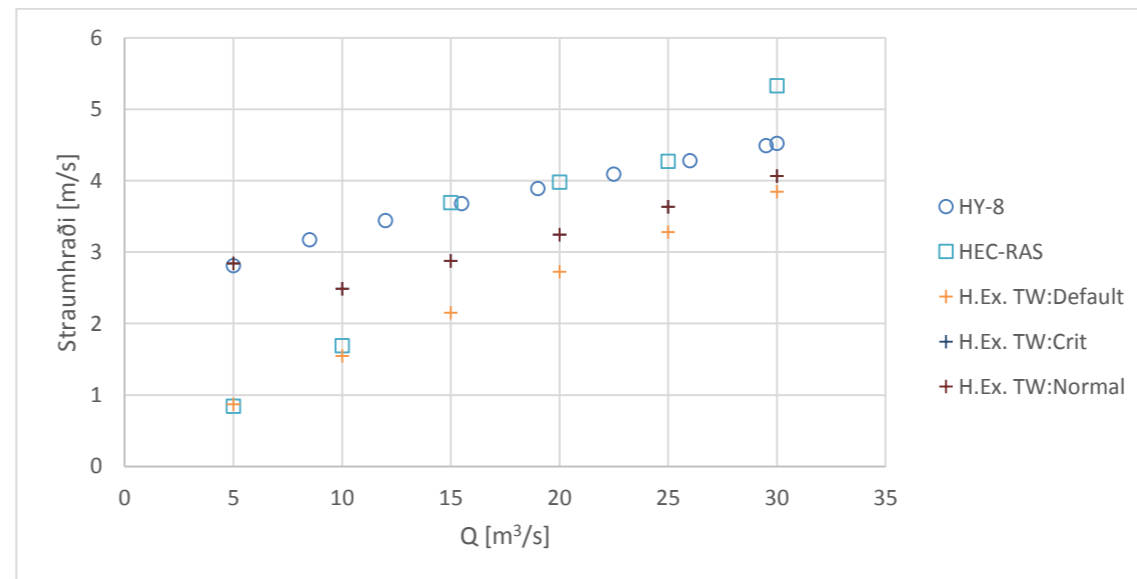
Mynd C-1. Straumhraði við úttak, Geiradalsá (steypur bogi á sökklum).



Mynd C-2. Straumhraði við úttak, Gervidalsá (tveir stálhólkar).



Mynd C-3. Straumhraði við úttak, Svínadalsá (stálbogi á sökklum).



Mynd C-4. Straumhraði við úttak, Hverá (fjórir plasthólkar).

Skýringar:

Q [m³/s] Rennslí í gegn um vegræsi í m³/s

H.Ex. TW:Default

H.Ex. TW:Crit

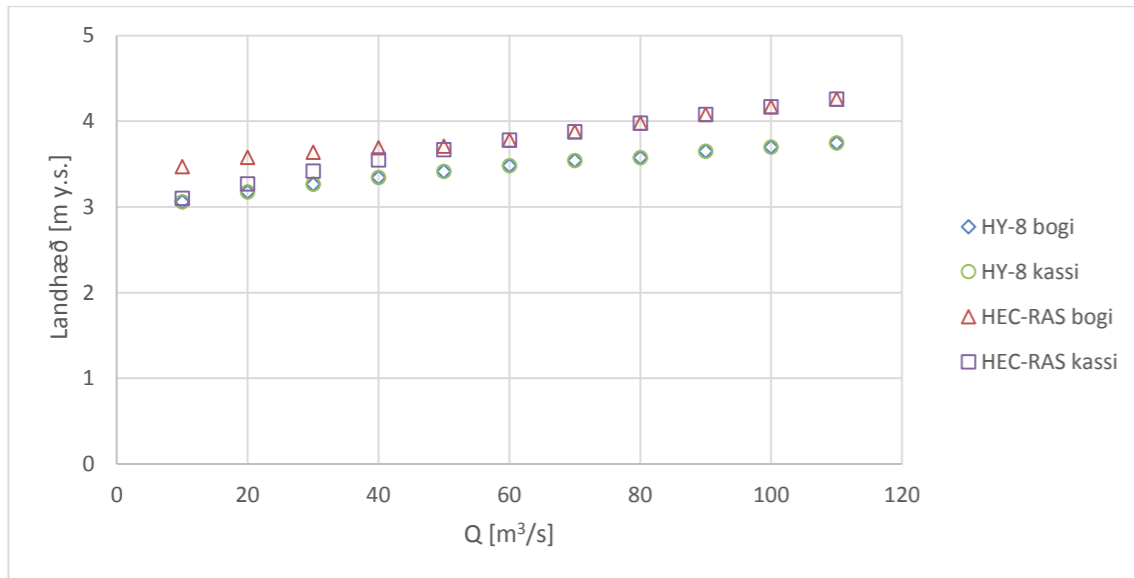
H.Ex. TW:Normal

Hydraflow Express keyrt með dýpi = $(dc+D)/2$ í bakvatni

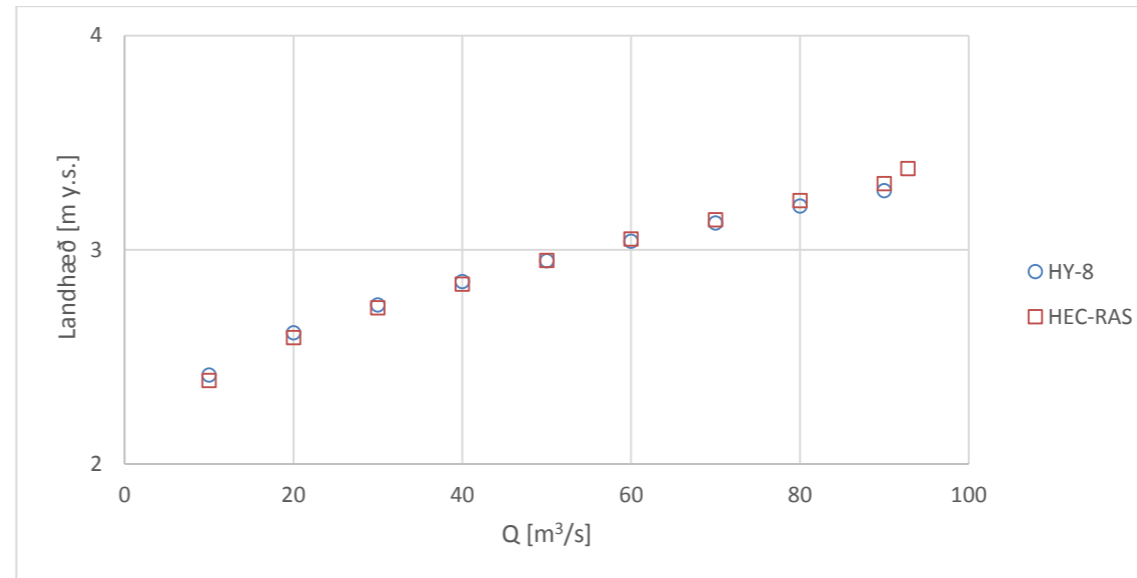
Hydraflow Express keyrt með krítískt dýpi (dc) í bakvatni

Hydraflow Express keyrt með normaldýpi í bakvatni

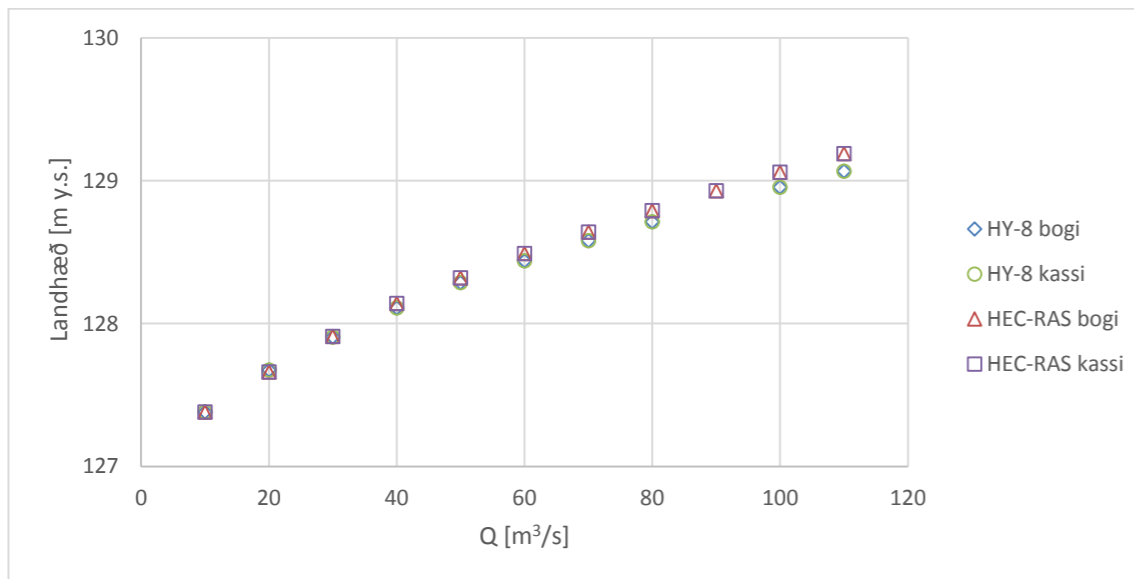
Viðauki D Dýpi bakvatnssniðs



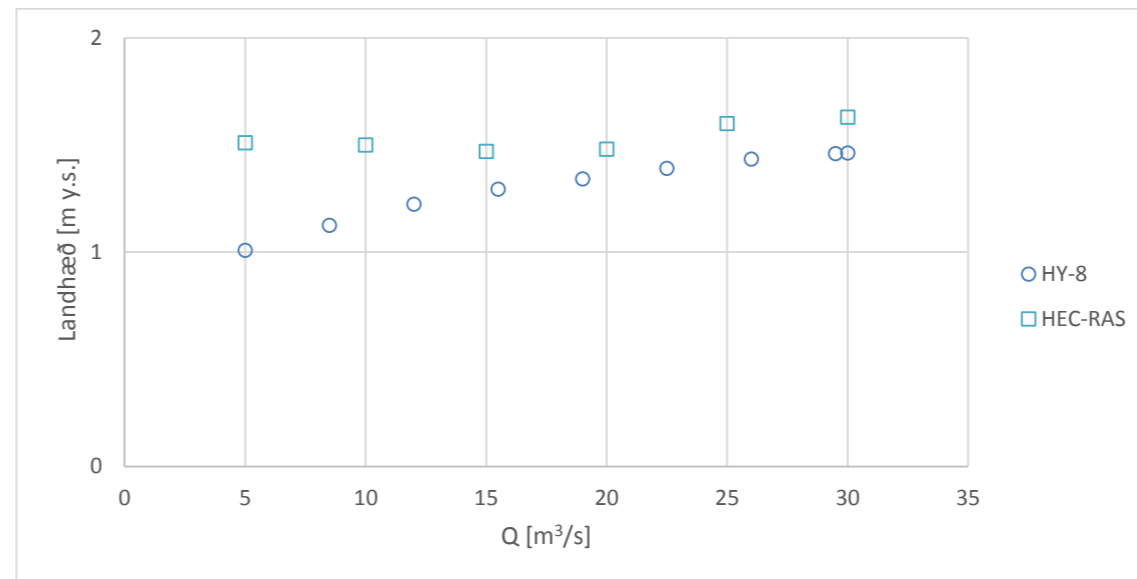
Mynd D-1. Dýpi bakvatnssniðs, Geiradalsá (steiptur bogi á sökklum).



Mynd D-2. Dýpi bakvatnssniðs, Gervidalsá (tveir stálhólkar).



Mynd D-3. Dýpi bakvatnssniðs, Svínadalsá (stálbogi á sökklum).



Mynd D-4. Dýpi bakvatnssniðs, Hverá (fjórir plasthólkar).

Skýringar:

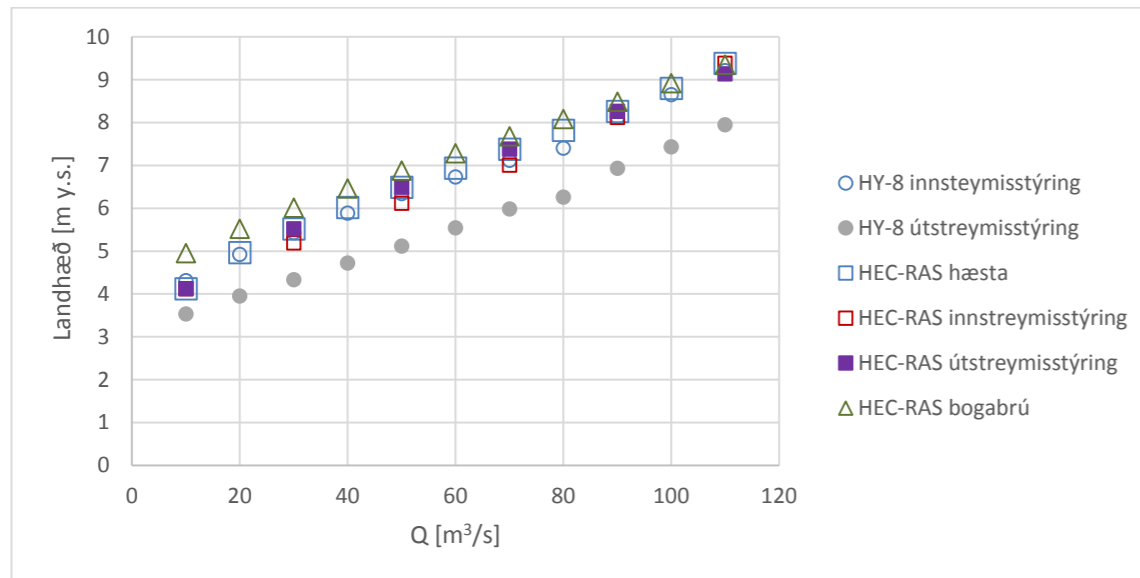
Landhæð [m y.s.]
Q [m³/s]

Vatnshæð framan við vegræsi í landhæð, í metrum yfir sjó
Rennsli í gegn um vegræsi í m³/s

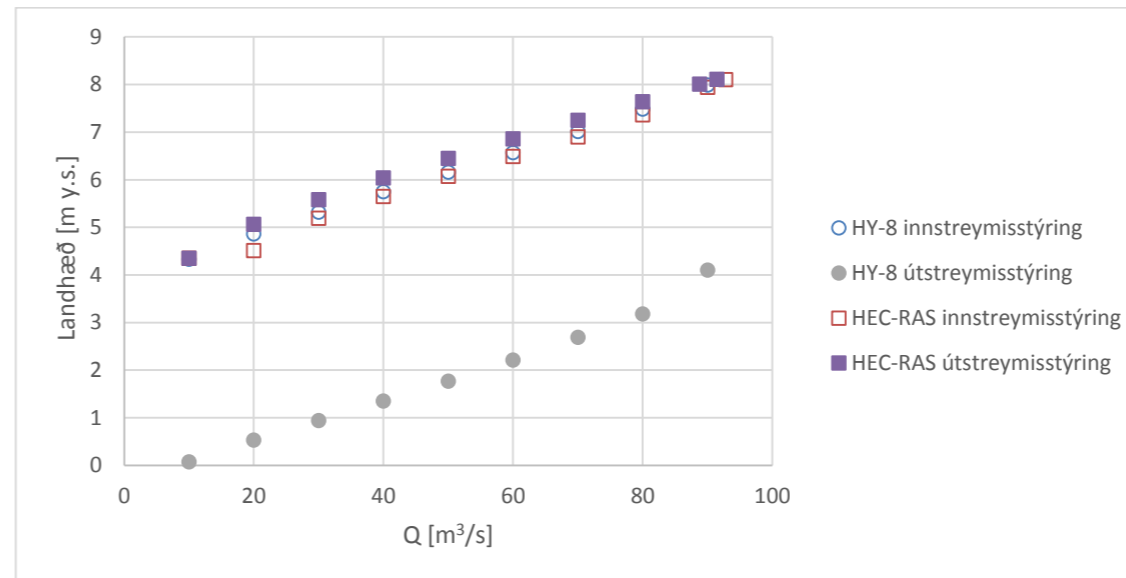
H.Ex. TW:Default
H.Ex. TW:Crit
H.Ex. TW:Normal

Hydraflow Express keyrt með dýpi = $(dc+D)/2$ í bakvatni
Hydraflow Express keyrt með kítískt dýpi (dc) í bakvatni
Hydraflow Express keyrt með normaldýpi í bakvatni

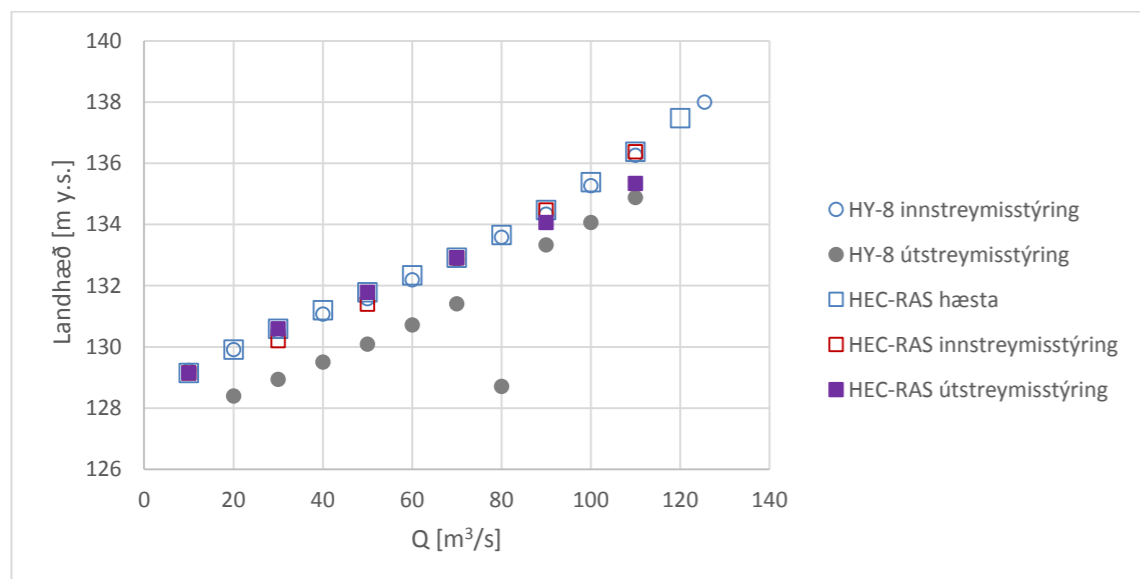
Viðauki E Inn- eða útstreymisstýring



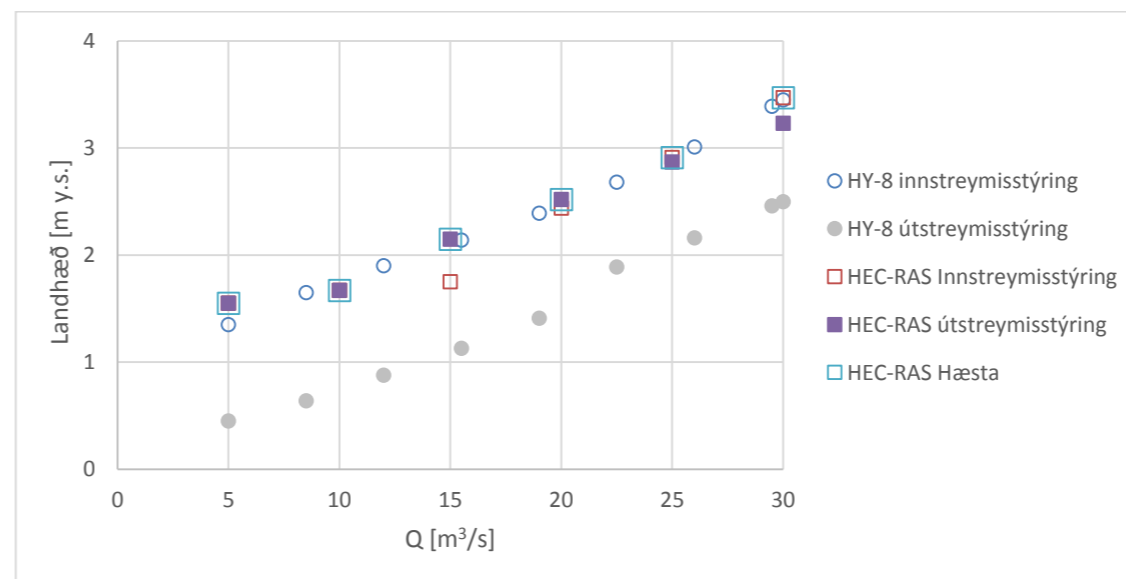
Mynd E-1. Vatnsdýpi framán við inntak ræsis í Geiradalsá (stálbogi á sökklum) reiknað fyrir inn- og útstreymisstýringu í forritunum HY-8 og HEC-RAS og einnig brúarham HEC-RAS.



Mynd E-2. Vatnsdýpi framán við inntak ræsis í Gervidalsá (tveir stálhókar) reiknað fyrir inn- og útstreymisstýringu í forritunum HY-8 og HEC-RAS.



Mynd E-3. Vatnsdýpi framán við inntak ræsis í Svinadalsá (stálbogi á sökklum) reiknað fyrir inn- og útstreymisstýringu í forritunum HY-8 og HEC-RAS.



Mynd E-4. Vatnsdýpi framán við inntak ræsis í Hverá (fjórir plasthólfkar) reiknað fyrir inn- og útstreymisstýringu í forritunum HY-8 og HEC-RAS.

Skýringar:

Landhæð Vatnshæð framán við vegræsi í landhæð, í metrum yfir sjó
Q [m³/s] Rennsli í gegnum vegræsi í m³/s

HEC-RAS innstr. forritið keyrt fyrir innstreymisstýringu
HEC-RAS útstr. forritið keyrt fyrir útstreymisstýringu
HEC-RAS hæsta forritið keyrt með Highest U.S. EG
HEC-RAS bogabrá forritið keyrt í brúarham, til útreikninga var „Energy (Standard Step)“ valið

Niðurstöður merktar „HEC-RAS hæsta“ eru þær sömu og í viðauka A, forritið reiknar bæði inn- og útstreymisstýringu og velur hærri vatnshæðina (Highest U.S. EG).