

Програм хидрауличких моделских испитивања

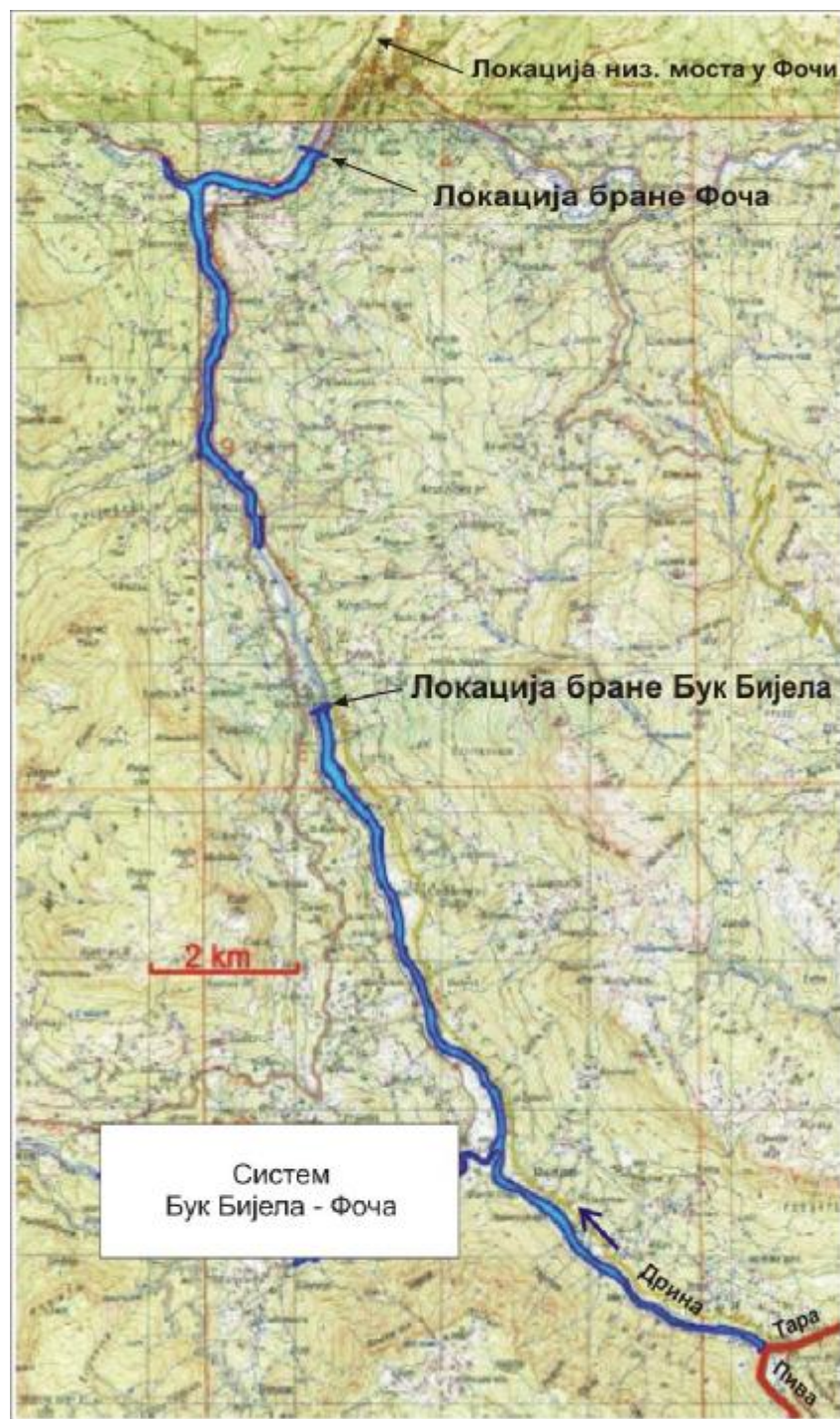
Увод

Систем хидроелектрана „Бук Бијела“ и „Фоча“ користи хидроенергетски потенцијал реке Дрине и то у њеном најузводнијем делу. Простире се на територији дуж реке Дрине од састава Пиве и Таре (локација Шћепан Поља) до града Фоче. Укупна дужина реке која је заузета овим системом је 21,5 km. Растојање између брана „Бук Бијела“ и „Фоча“, мерено дуж тока је око 10km.

Акумулација „Бук Бијела“ представља узводну степеницу, док акумулација „Фоча“ представља низводну степеницу. Обе акумулације имају изузетно малу запремину у односу на средњи протицај Дрине и предвиђене су за дневну, односно делимичну дневну регулацију протицаја, а за потребе рада хидроелектрана.

На Слици 1 дат је приказ локација наведених брана и акумулација на топографској карти. На Слици 2 дат је подужни профил реке Дрине на разматраном потезу од Шћепан поља до преградног профила ХЕ „Фоча“.

На оба профила „Бук Бијела“ и „Фоча“ предвиђен је бетонски гравитациони тип бране, који у свом десном делу укључује преливе, док је у левом делу инкорпорирана у тело бране машинска зграда. У случају „Бук Бијеле“ уместо једног преливног поља је постављен већи дубински испуст, који поред улоге евакуације великих вода, има и улогу темељног испуста, али и улогу испуста за евентуалну евакуацију наноса из зоне непосредно узводно од бране. У случају „Фоче“, с обзиром да је кота круне прелива постављена практично у зони дна корита реке, није било потребе за постављањем посебног темељног испуста.



Слика 1. Приказ локација брана и акумулација „Бук Бијела“ и „Фоча“ на топографској карти



Слика 2. Подужни профил реке Дрине на деоници Шћепан Поље –ХЕ Бук Бијела – ХЕ Фоча

За умирење преливене воде у оба случаја је предвиђено слапиште, док је низводно од машинске зграде смештена одводна вада. У оба случаја речно корито низводно од слапиштаи одводне ваде се прокопава у циљу повећања пада хидроелектране.

Брана и хидроелектрана „Бук Бијела“

Оса бране „Бук Бијела“ се налази у кањону Дрине, на стационажи Дрине km 334+550, на око 11,5 km узводно од моста у Фочи (код Кланица).

Брана је бетонска гравитациона, висине 36,1 m мерено од коте дна реке. Кота дна реке на локацији бране је 400,0 mm. У левом делу бране смештена је машинска зграда, док је десни део бране предвиђен за смештај објеката за евакуацију великих вода.

Евакуација великих вода ће се вршити преко два преливна поља (ширина једног поља 13,6 m, са котом круне прелива 416,0mm), контролисана радијалним уставима, као и кроз један већи дубински испуст (10,5 m x 11,2 m), такође контролисан радијалном уставом. Дубински испуст је позициониран у самом средишту корита и предвиђен је да поред великих вода евакуише и нанос у околини улаза у проточни тракт хидроелектране.

Објекти за евакуацију великих вода - преливи и дубински испуст – димензионисани су тако да се, у случају било које две уставе комплетно отворене и успостављене коте нормалног успора у акумулацији од 434,0mm, низводно може пропустити велика вода повратног периода 1000 година, а која износи 3790 m³/s.

У случају све три устава комплетно отворене и успостављене коте нормалног успора у акумулацији (434,0mnm), низводно се, без опасности по сигурност бране, може пропустити и велика вода повратног периода 10000 година у износу 5484 m³/s.

Низводно од прелива и дубинског испуста су пројектовани базени за умирење воде – слапишта, и то посебно за преливе, а посебно за темељни испуст.

Укупна дужина оба слапишта је 93m. Ширина слапишта прелива је 32,2m, а ширина слапишта темељног испуста је 13m. Кота дна слапишта је 394,1 mnm.

У случају када је низводно потребно пропустити мање протицаје, до око 150 m³/s, као и да би се пропустили пливајући предмети (пластични отпад, грање, лед и слично), на уставама прелива су предвиђене клапне. Клапне се неће посебно испитивати на моделу.

У левом делу бране, у машинској згради су лоциране три Капланове турбине, две веће и једна мања. С обзиром на величину инсталисаног протицаја од 350 m³/s, две веће турбине су инсталисаних протицаја по 150 m³/s, док је мања турбина инсталисаног протицаја 50m³/s. Мања турбина је предвиђена и због могуће потребе испуштања еколошког минимума (25 m³/s), а у случајевима када хидроелектрана иначе не би радила, а ниво у акумулацији „Фоча“ у томе периоду није довољан да омогући потапање комплетне деонице Дрине од бране „Бук Бијела“ до бране „Фоча“ (то је нпр случај када је кота воде у акумулацији „Фоча“ на коти минималног радног нивоа).

Низводно од слапишта и одводне ваде се предвиђа прокопавање корита у дужини од 2300 m. У самој близини слапишта корито се прокопава око 1 m, са котом дна прокопаног корита од 399 mnm. Нагиб прокопаног корита је 0,175 ‰. Ширина дна прокопаног корита се прилагођава ширини корита у природном стању. Најузводнија деоница прокопавања почиње од ширине корита коју одређују ширина слапишта и одводне ваде и на дужини од око 230 m се сужава на 30m. На следећој деоници дужине око 625 m усвојена ширина дна корита је 30 m. Низводно од ове деонице у дужини од 1440 m, усвојена је ширина дна од 40 m. Нагиби косина до природног терена су усвојени 1:2 (вер:хор), осим на краћим лока-цијама где су усвојени стрмији нагиби обезбеђени зидом или габионима.

За потребе евакуације вода током грађења, предвиђен је опточни тунел у десном боку пречника 14 m, као и бетонска узводна предбрана и насута низводна предбрана. Узводна предбрана је гравитациона бетонска, коте круне 423,7 mnm. Низводна предбрана је насута са глиненим језгром, коте круне 411,6 mnm. Предвиђено је да се предбране по завршетку израде објекта комплетно уклоне, а опточни тунел затвара бетонским чепом.

Сумарни приказ техничких података система „Бук Бијела“ и „Фоча“

У следећим табелама је дат сумарни приказ неких карактеристичних техничких података система „Бук Бијела“ и „Фоча“.

Табела 1. Карактеристични подаци за систем „Бук Бијела“ и „Фоча“

Податак	Димензија	"Бук Бијела"	"Фоча"
Хидролошки подаци			
Qsr	m ³ /s	162	178
Qmin 95%	m ³ /s	24,4	26,7
Q 20%	m ³ /s	1193	1342
Q 10%	m ³ /s	1417	1575
Q 5%	m ³ /s	1711	1737
Q 1%	m ³ /s	2467	2386
Q 0,1%	m ³ /s	3789	3790
Q 0,01%	m ³ /s	5484	5601
Унос наноса	мил m ³ /год	1,4	1,18
Меродавни протоци			
За еколошки минимум	m ³ /s	25	27
За димензионисање прелива	m ³ /s	3790	3790
За провера сигурности бране	m ³ /s	5484	5600
Акумулација			
Кота максималног успора (КМУ)	mnm	434,0	404,2
Кота нормалног успора (КНУ)	mnm	434,0	403,0
Кота минималног радног нивоа	mnm	420,5	396,0
Кота дна реке на локацији бране постојеће / прокопано	mnm	400,0 / 399,0	387,0 / 385,5
Запремина - укупна	m ³	15,7	6,7
Запремина - корисна	m ³	11,0	4,6
Површина при КНУ	ha	123,3	90,5
Површина при КМУ	ha	123,3	100,5
Хидроелектрана			
Тип агрегата	-	Каплан	Цевна
Број агрегата	-	2+1	2+1
Qins	m ³ /s	350	350
Qins већи агрегат	m ³ /s	150	150
Qins мањи агрегат	m ³ /s	50	50
Кота доње воде за Qins	mnm	404,6 / 404,8	388,9
Кота доње воде за Qins већи агрегат	mnm	402,9 / 403,6	387,8
Кота доње воде за Qins мањи агрегат	mnm	401,3 / 403,1	386,8
Максимални бруто пад	m	32,7	16,2
Хидроелектрана - наставак			
Минимални бруто пад	m	15,7	7,1
Pins	MW	93,4	44,8
Pins већи агрегат	MW	40,0	19,3
Pins мањи агрегат	MW	13,4	6,2
Средња годишња производња	GWh	327	175

Податак	Димензија	"Бук Бијела"	"Фоча"
---------	-----------	--------------	--------

Брана

Тип	-	гравитациона бетонска	гравитациона бетонска
ККБ	mm	436,1	406,8
Висина бране од речног дна	m	36,1	21,3
Висина бране конструктивна	m		
Дужина круне бране	m		
Ширина круне бране	m		

Прелив

Број преливних поља	-	2	4
ККП		416,0	386,5
Ширина преливног поља	m	13,6	13,5
Капацитет прелива	m ³ /s	3790	5600
Капацитет једног преливног поља	m ³ /s	1895	
Тип устава	-	радијалне	радијалне
Висина устава	m	18,3	17,1
Број устава са клапном	-	2	2
Висина клапне	m	2,8	2,8

Дубински испуст

Кота дна улаза	mm	397	-
Капацитет дубинског испуста (Q0,1% / Q0,01%)	m ³ /s	1840 / 1670	-
Кота доње воде при Q0,1%	mm	415,7	396,6
Кота доње воде при Q0,01%	mm	419,0	399,0
Ширина	m	10,5	-
Висина	m	11,2	-
Дужина	m	25	-

Слапиште

Кота дна слапишта	mm	394,1	382
Ширина слапишта прелива	m	32,2	69,0
Дужина слапишта прелива	m	93,0	64,0
Ширина слапишта дубинског испуста	m	15,0	-
Дужина слапишта дубинског испуста	m	93,0	-

Размера и просторне границе хидрауличког модела

Сагласно Пројектном задатку, за сваку брану се ради физички модел у размери 1:45. Сваки модел обухватиће следеће елементе:

- део акумулације узводно од бране,
- брану у целој дужини,
- прелив са преливним пољима и разделним стубовима и слапиштем,
- проточни тракт хидроелектране са одводном вадом,
- деоницу речног корита низводно од слапишта и одводне ваде.

Оба модела ће се радити у Фрудовој сличности. За предложену размеру модела $\lambda = 45$, за главне физичке величине на моделу дат је фактор размере.

Табела 2. Фактор размере за главне физичке величине

Физичка величина		Фактор размере
Дужина (m)	$\frac{L_p}{L_m} = \lambda$	45
Притисак (m воденог стуба)	$\frac{p_p}{p_m} = \lambda$	45
Брзина (m/s)	$\frac{V_p}{V_m} = \lambda^{1/2}$	6,708
Проток (m ³ /s)	$\frac{Q_p}{Q_m} = \lambda^{5/2}$	13584

Сваки модел ће обухватити:

- Део акумулације узводно од бране (Бук Бијела у дужини од око 365 m, а Фоча у дужини око 270 m)
- Брану са објектима за евакуацију великих вода (преливи, дубински испуст, слапишта) и пропуштање воде кроз електрану (проточни тракт, одводна вада)
- Низводни део речног тока (низводно од слапишта „Бук Бијеле“ у дужини од око 350 m, а низводно од слапишта „Фоче“ у дужини од око 440 m).

На моделу ће се, на узводној граници обезбедити униформни доток у модел. На низводној граници обезбедиће се контрола нивоа доње воде.



Слика 3. Физички модел бране и ХЕ „Бук Бијела“ у размери 1:45, слапиште (поглед узводно)

Главни задаци хидрауличких моделских испитивања

У складу са Пројектним задатком, на сваком од наведена два модела је потребно посебно испитати:

1. Преливе са уставама, а у случају „Бук Бијеле“ и дубински испуст
 - Проверити капацитет прелива, а у случају „Бук Бијеле“ и темељног испуста, за случај коте максималног и нормалног успора.
 - За случај „Бук Бијеле“ проверити међусобни утицај течења кроз дубински испуст и течења преко прелива.
 - Снимити струјну слику за све карактеристичне комбинације рада хидроелектране и прелива, а у случају „Бук Бијеле“ и дубинског испуста
 - Одредити коту нивоа у акумулацији у зависности од протицаја преко прелива у условима слободног преливања преко прелива,
 - Одредити капацитет прелива, а у случају „Бук Бијеле“ и дубинског испуста, при делимично отвореним уставама за константан ниво воде у акумулацији.

2. Улазна грађевина ХЕ – вертикални зид

У оквиру Пројектног задатка се тражи да се испита утицај вертикалног зида на улазу у хидроелектрану на рад хидроелектране. С обзиром да предложеним техничким решењем наведени зид није предвиђен ни на једној од две разматране ХЕ, ова тачка Пројектног задатка се неће разматрати.

3. Умирујући базен - слапиште

- Провера ефикасности рада слапишта за пуни дијапазон евакуације воде преко прелива и то при различитим комбинацијама рада електрана и прелива. У случају „Бук Бијеле“ размотрити и комбинације са радом дубинског испуста
- Провера предложене дужине слапишта на основу утврђеног хидрауличног скока
- Дефинисање квалитативне слике ерозије низводно од слапишта

4. Одводна вада

- Испитати утицај дужине и висине разделног зида између слапишта и одводне ваде на хидрауличке односе на излазу из дифузора.
- Предложити евентуално решење разделног зида оптималног са становишта рада турбина и умурујућег базена.

Различите групе мерења ће се обавити у циљу добијања одговора на захтеве Пројектног задатка. Поред осталог, мерења ће обухватити:

- Мерења расподеле статичких притисака на објекте који су у директном контакту са водом,
- Мерења протока преко прелива за различите отворености устава и нивое у акумулацији
- Мерења нивоа воде дуж прелива (круна прелива, тело прелива, слапиште) за различите протоке.
- Локација хидрауличног скока у слапишту, контрола дужине скока у циљу стабилизације скока за дијапазон релевантних протока.
- Мерења брзина у акумулацији у циљу утврђивања услова прилазног тока и на деоници низводно од слапишта у циљу провере ерозионог потенцијала.

Опсег протицаја и гранични услови

Опсег протицаја и карактеристични протицаји

У случају бране и хидроелектране „Бук Бијела“, максимални проток разматран у пројекту је проток од $5484 \text{ m}^3/\text{s}$. На моделу ће то представљати проток од 404 l/s .

Проток који је коришћен као меродаван за димензионисање објеката за евакуацију великих вода је $3790\text{ m}^3/\text{s}$, што на моделу представља проток од 280 l/s .

Преливање преко прелива је у свим разматраним случајевима непотопљено, па капацитет прелива зависи искључиво од коте воде у акумулацији.

За коту у акумулацији која одговара коти нормалног успора од 434 mnm , капацитет једног преливног поља, добијен прорачунима у оквиру Идејног пројекта, је $1950\text{ m}^3/\text{s}$ када ради једно поље, а нешто мањи када раде оба преливна поља. На моделу то одговара протоку од око 144 l/s .

У случају истицања кроз дубински испуст, капацитет испуста зависи и од коте горње воде (коте воде у акумулацији) и од коте доње воде. У оквиру Идејног пројекта, разматран је случај рада дубинског испуста у комбинацији са једним преливним пољем и у комбинацији са два преливна поља и то при коти нормалног успора у акумулацији $434,0\text{ mnm}$. У првом случају, у комбинацији са једним преливним пољем, прорачунат проток кроз дубински испуст је $1840\text{ m}^3/\text{s}$, а при коти доње воде $415,7\text{ mnm}$. Наведени проток одговара протоку на моделу од око 135 l/s .

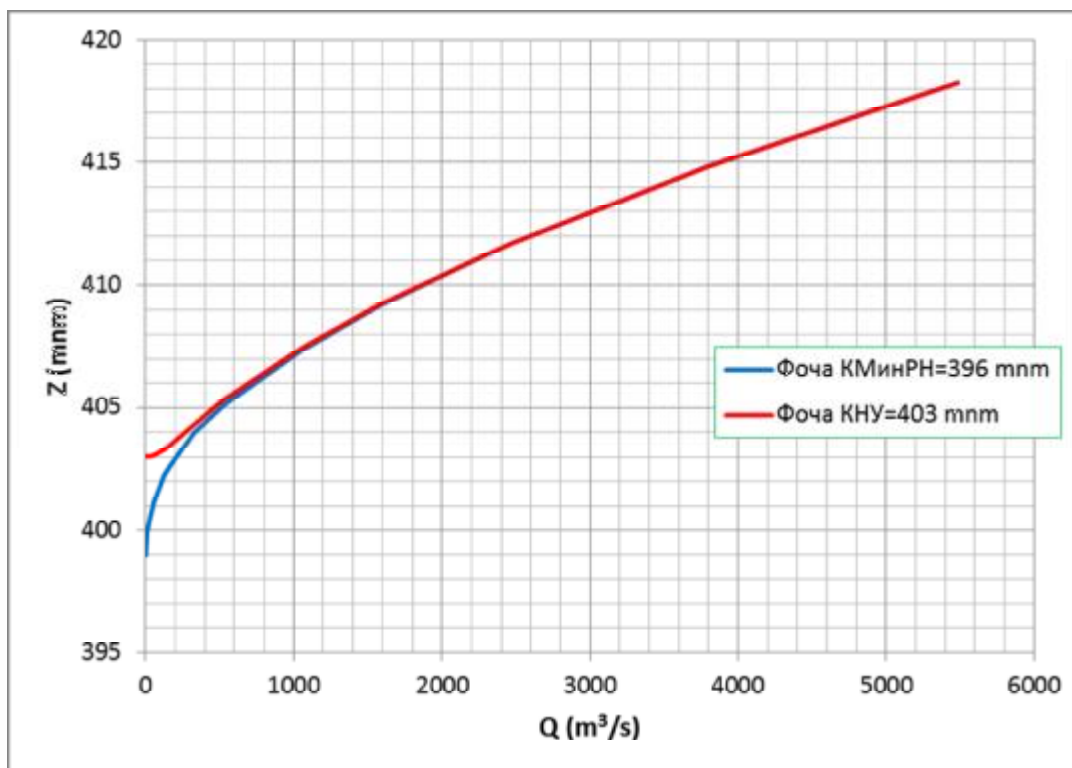
У другом случају, у комбинацији са два преливна поља, и при коти нормалног успора у акумулацији, прорачунат проток кроз дубински испуст је $1670\text{ m}^3/\text{s}$, а при коти доње воде $419,0\text{ mnm}$. Наведени проток одговара протоку на моделу од око 123 l/s .

Гранични услови

Низводни гранични услов за сваки од модела дефинисан је кривама протицаја у најнизоводнијем моделираном речном профилу. Обзиром да су криве протицаја добијене рачунски, за велике протицаје испитаће се утицај промене доње воде на капацитет и рад евакуационих објеката.

За случај „Бук Бијеле“ најнизоводнији моделирани речни профил је профил означен са ББ8 у пројекту.

Крива протока за профил ББ8 (прокопано корито Дрине низводно од слапишта „Бук Бијеле“) је дата на Слици 4. Како крива протока у овом профилу зависи од коте воде акумулације „Фоча“, на графику су дате две линије – једна за случај када је ниво акумулација на коти нормалног успора 403 mnm и други, када је ниво на коти минималног радног нивоа тј када нема утицаја акумулације „Фоча“ на течење у овом профилу. У Табели 3 је дат и табеларни приказ наведених кривих протока.

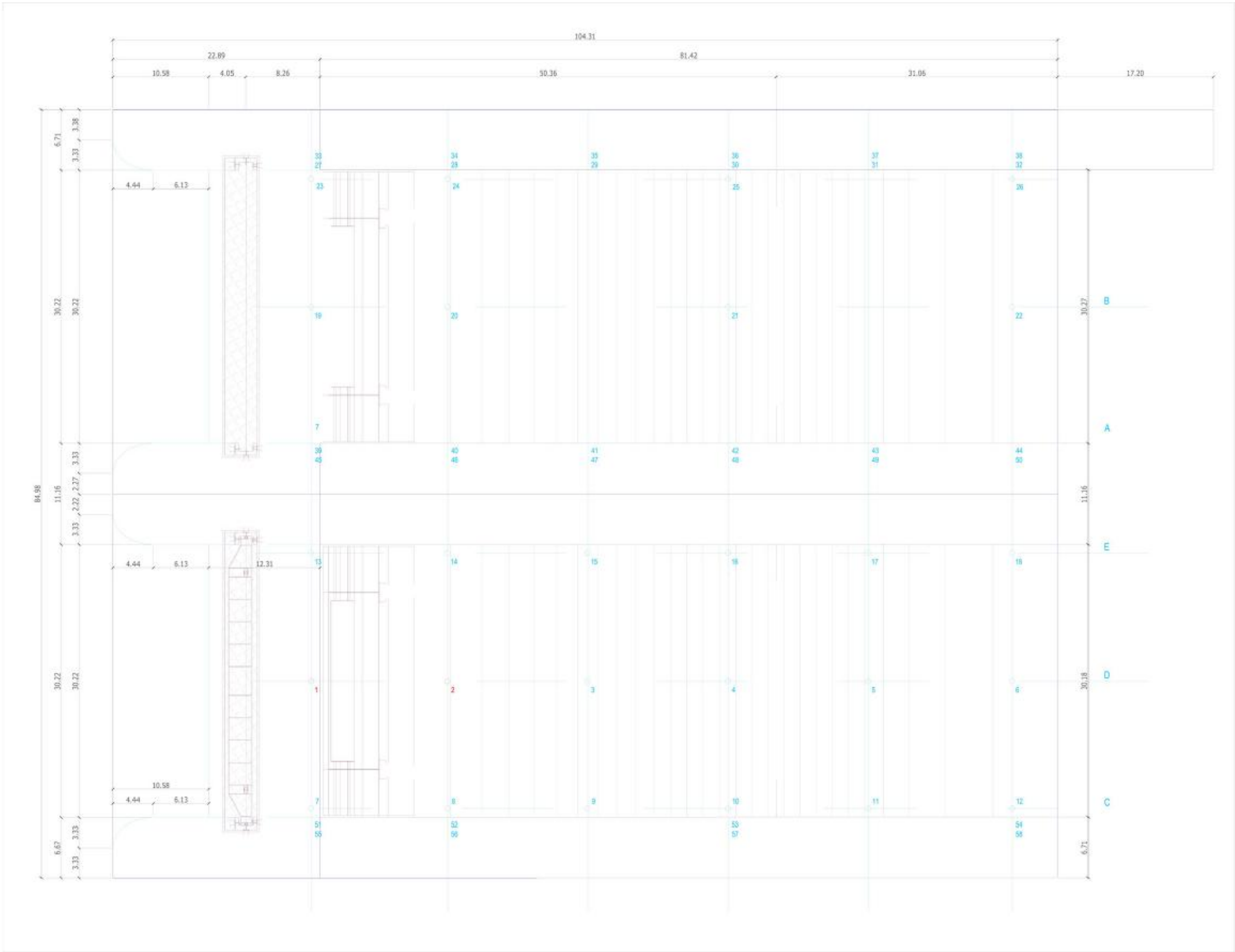


Слика 4. Криве протока за профил ББ8 који се налази на око 350 m низводно од слапишта „Бук Бијеле“ за случај када је ниво у акумулацији Фоча на коти нормалног успора и за случај када је на коти минималног радног нивоа

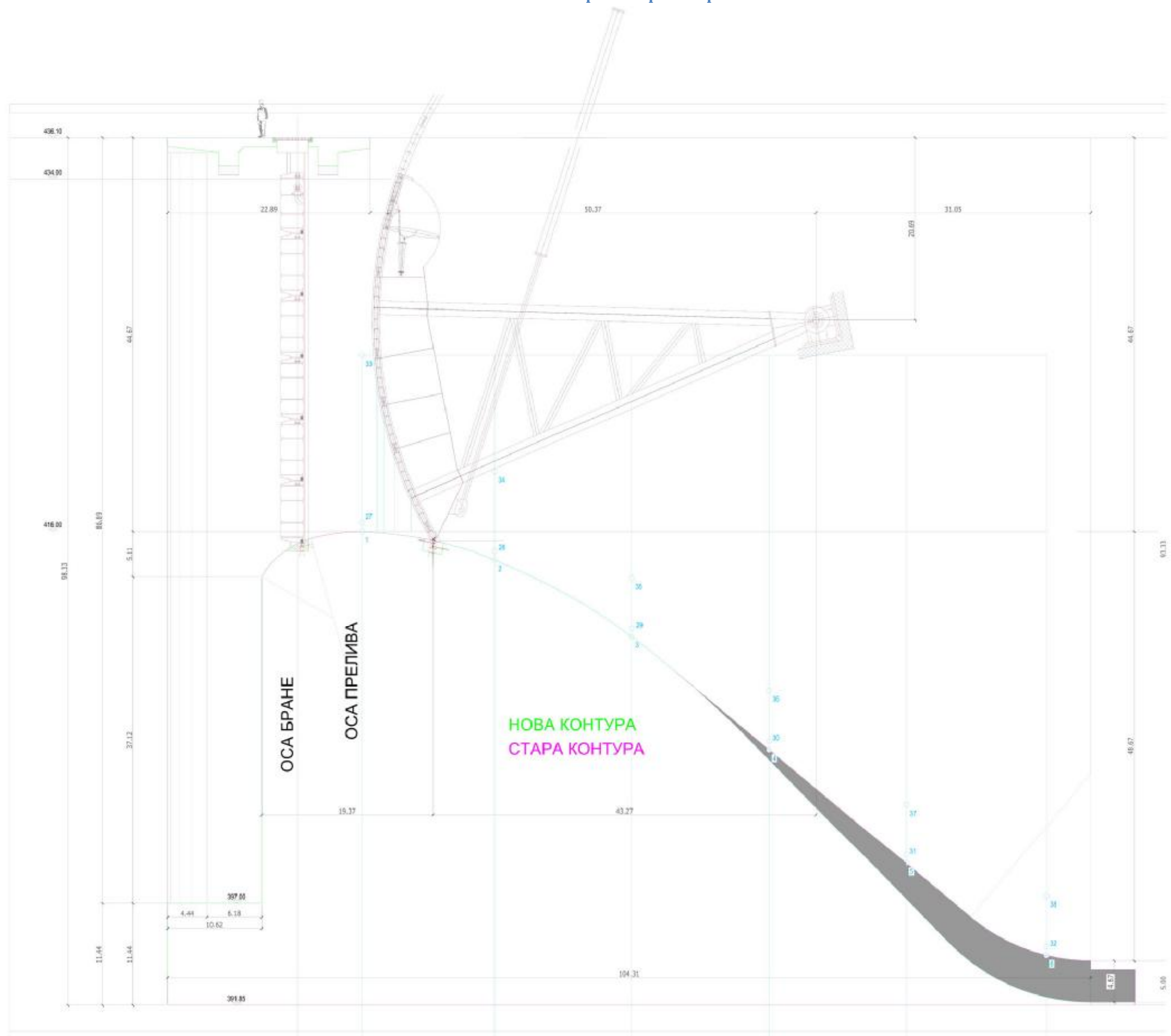
Табела 3 Табеларни приказ криве протока за профил ББ8 који се налази на око 350 m низводно од слапишта „Бук Бијеле“ за случај када је ниво у акумулацији Фоча на коти нормалног успора и за случај када је на коти минималног радног нивоа

	Фоча КНУ=403 mnm	Фоча КМинРН=396 mnm
Q(m³/s)	Z (mnm)	Z (mnm)
0,0	403,00	398,94
10,6	403,00	399,95
21,2	403,01	400,36
52,9	403,06	401,14
127,0	403,30	402,25
162,0	403,46	402,65
331,0	404,33	404,00
529,0	405,31	405,11
1058,0	407,47	407,38
1588,0	409,23	409,18
2467,0	411,70	411,68
3789,0	414,82	414,82
5484,0	418,24	418,24

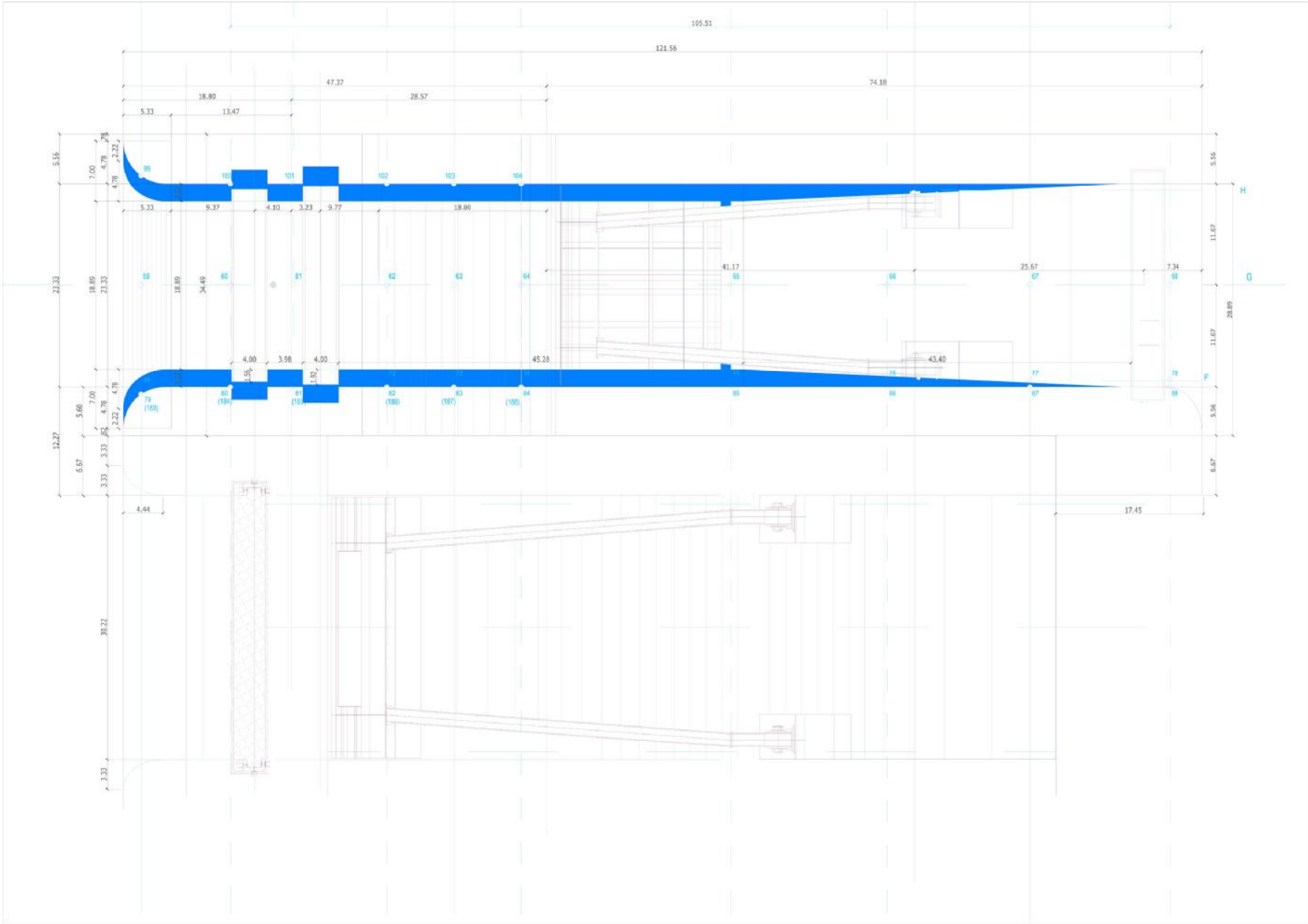
Основа преливних поља



Попречни пресек преливних поља



Основа темељног испуста



Попречни пресек темељног испуста

