

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

S.O. OPERE CIVILI

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA
RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-ALBACINA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica –Corsi d'Acqua Minori

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IR0E 00 R 09 RI ID0002 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	P. Cucino	Dicembre 2021	F. Cabas	Dicembre 2021	C. Urciuoli	Dicembre 2021	A Vittozzi Luglio 2022
B	EMISSIONE A SEGUITO MODIFICHE TRACCIATO E OSSERVAZIONI DT RFI	C. Cesali	Luglio 2022	F. Cabas	Luglio 2022	C. Urciuoli	Luglio 2022	

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Manutenzione delle varianti
Dist. Imp. Ing. Paolo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° A20783

File: IR0E00R09RIID0002002B.doc

n. Elab.:

INDICE

1.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA	3
1.1	NORMATIVA NAZIONALE	3
1.2	NORMATIVA REGIONALE	3
1.3	DOCUMENTI TECNICI.....	3
2.	PREMESSA	4
3.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	5
4.	IDROLOGIA E IDRAULICA	6
4.1	INQUADRAMENTO GENERALE	6
5.	ANALISI INTERFERENZE IDRAULICHE.....	8
5.1	MANUALE DI PROGETTAZIONE FERROVIARIO.....	9
5.2	VERIFICHE IDRAULICHE	10
5.2.1	<i>Verifiche idrauliche in moto uniforme</i>	<i>11</i>
5.2.2	<i>Verifiche idrauliche con il software HY-8.....</i>	<i>13</i>
5.2.3	<i>Verifiche idrauliche mediante il software HEC-RAS</i>	<i>18</i>
6.	ANALISI SISTEMAZIONI IDRAULICHE PRINCIPALI	25
6.1	TOMBINO IN01	25
6.1.1	<i>Condizioni ante operam</i>	<i>25</i>
6.1.2	<i>Condizioni post operam.....</i>	<i>27</i>
6.2	TOMBINO IN04	31
6.2.1	<i>Condizioni ante operam</i>	<i>31</i>
6.2.2	<i>Configurazione temporanea</i>	<i>35</i>
6.2.3	<i>Condizioni post operam.....</i>	<i>36</i>
6.3	TOMBINO IN08	38
6.3.1	<i>Condizioni ante operam</i>	<i>39</i>
6.3.2	<i>Condizioni post operam.....</i>	<i>42</i>
6.4	RIEPILOGO DEI RISULTATI.....	46

ALLEGATO A: RISULTATI MODELLAZIONE HY-8

ALLEGATO A: RISULTATI MODELLAZIONE HEC-RAS

1. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

Con specifico riferimento agli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale e regionale, i riferimenti principali nel campo idrologico-idraulico sono elencati nel seguito.

1.1 Normativa nazionale

- [1] R.D. 25/07/1904, n. 523 – “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”;
- [2] D.M. 12/12/1985 – “Normativa tecnica per le tubazioni”;
- [3] Circolare 20/03/1986, n. 27291 – “Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni”;
- [4] Legge 18 maggio 1989, n. 183. Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.
- [5] L. 36/94 (Legge Galli). Disposizioni in materia di risorse idriche.
- [6] D.P.R. 14 aprile 1994. Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale e interregionale.
- [7] DPCM 4/3/96. Disposizioni in materia di risorse idriche.
- [8] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale.

1.2 Normativa regionale

- [9] Legge regionale 22 giugno 1998, n. 18. Disciplina delle risorse idriche.
- [10] Legge regionale 25/5/1999, n° 13. Disciplina regionale della difesa del suolo.
- [11] Piano per l’Assetto Idrogeologico (PAI) Marche, richiesto dalle LL. 267/98 e 365/00.
- [12] Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell’Appennino Centrale – P.G.R.A.A.C.
- [13] Legge regionale 23 novembre 2011, n. 22. Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico

1.3 Documenti tecnici

- [14] D. Citrini, G. Nosedà – “Idraulica” – Casa Editrice Ambrosiana Milano – 1987;
- [15] F. Arredi – “Costruzioni Idrauliche” – Utet – 1987;

- [16] G. Ippolito – “Appunti di costruzioni idrauliche” – Liguori – 1993;
- [17] S. Gabriele, G. Liritano – “Alcuni aspetti teorici ed applicativi nella regionalizzazione delle piogge con il modello TCEV” – Previsione e Prevenzione degli Eventi Idrologici Estremi e Loro Controllo, Rapporto 1992/93, L1, GNDICI-CNR, Roma – 1994;
- [18] G. Calenda, F. Campolo, C. Cosentino, R. Guercio – “Valutazione delle piene nei bacini delle sezioni idrografiche di Roma e Pescara” – In La valutazione delle piene in Italia-Rapporto Nazionale di Sintesi, CNR-GNDICI, Allegato F, Roma – 1994;
- [19] L. Da Deppo, C. Datei – “Fognature” – Edizioni Progetto Padova – 1997;
- [20] S. Artina et al. – “Sistemi di Fognatura” – Centro Studi Deflussi Urbani – Hoepli – 1997.

2. PREMESSA

Il presente documento è parte della Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica del “Raddoppio della tratta PM228 - Albacina” nell’ambito del “Potenziamento infrastrutturale Orte - Falconara”.

La presente relazione descrive il dimensionamento e la verifica idraulica delle opere di attraversamento sui corsi d’acqua minori nel tratto di intervento, a partire dai risultati ottenuti dall’analisi idrologica che ha condotto alla determinazione delle massime portate di progetto dei bacini idrografici di interesse. Tali opere sono state individuate sia a partire dal rilievo disponibile del tracciato esistente, sia da analisi geomorfologiche dei bacini idrografici afferenti la linea ferroviaria.

L’analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- Verifica idraulica delle sistemazioni idrauliche principali mediante modello HEC-RAS 1D: confronto dei profili in moto permanente e delle sezioni con livelli idrici ed energetici relativi alle condizioni *ante e post operam*;
- Verifica idraulica delle sistemazioni di progetto minori con modello HY-8.

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Nell'ambito del potenziamento infrastrutturale della Linea ferroviaria Orte-Falconara, il presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica riguarda il raddoppio della tratta PM228-Albacina.

Il PFTE si basa sullo studio di fattibilità redatto da RFI nel 2020 e sugli input di base comunicati dalla committenza nei mesi scorsi.

L'intervento inizia dal PM228, posto alla progressiva Km 228+014, il progetto prevede un raddoppio in stretto affiancamento alla Linea storica per circa 4 Km.

E' prevista una viabilità sostitutiva per la soppressione del PL posto alla progressiva Km 229+436.

Succeivamente il, tracciato prosegue sempre con raddoppio in affiancamento realizzato per fasi, con un'alternanza di tratti in rilevato e in trincea.

Si arriva infine alla stazione di Albacina nella quale viene previsto un nuovo PRG per rispondere alle richieste funzionali della Committenza; verrà realizzato un nuovo sovrappasso, dei collegamenti perdonali (rampe scale ed ascensori), e nuovi marciapiedi L utile pari a 250 m e H=55 cm.

I marciapiedi verranno dotati di nuove pensiline ferroviarie. Nella stazione verranno creati i percorsi per le PMR percorsi tattili e segnaletica.

Saranno previsti inoltre, dal punto di vista impiantistico nella stazione di Albacina:

- illuminazione punte scambi;
- impianti RED;
- illuminazione scale, banchine
- impianti IaP e DS

Nell'area della stazione verrà realizzato un Fabbricato Tecnologico con annesso locale di Consegna ENEL.

Successivamente il tracciato prosegue a semplice binario e si collega con la linea esistente che prosegue, da un lato verso Falconara, e dall'altro verso Macerata.

Nei pressi della stazione di Albacina viene prevista anche l'adeguamento della Cabina TE realizzata da RFI e necessaria per gestire il corretto assetto delle protezioni della LdC e garantire l'equipotenzialità delle condutture, visto che la linea, come detto in precedenza, prosegue a semplice binario.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – ALBACINA					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0E	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 6 di 56

Infine sono previsti lungo il tracciato tratti di barriere antirumore di lunghezza complessiva pari a circa 1.200 m (tra BD e BP) e di altezza mediamente pari a 5,5 metri.

4. IDROLOGIA E IDRAULICA

4.1 Inquadramento generale

Dal punto di vista idrologico-idraulico, la tratta ferroviaria in progetto si sviluppa interamente in affiancamento al Torrente Giano e attraversa una serie di corsi d'acqua minori, tributari del Torrente Giano stesso.

Come analizzato nella relazione idrologica annessa, per rappresentare l'andamento plano-altimetrico dell'area di studio è stato utilizzato il DTM (Digital Terrain Model) della Regione Marche (risoluzione 20mx20m) e quello del MATT (risoluzione 1mx1m) per la fascia in prossimità del Torrente Giano.

Oltre al reticolo idrografico disponibile nel database dell'idrografia regionale della Regione Marche, sulla base del DTM è stata ricostruita la rete idrografica dell'area di intervento, perimetrando i bacini afferenti ai corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria e le viabilità di progetto, come riportato nella figura seguente.

Le portate afferenti alle sezioni di chiusura dei bacini minori sono state calcolate con il metodo razionale, confrontando i risultati derivanti dall'elaborazione statistica di Gumbel delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni di misura di riferimento con quelli ottenuti dagli studi idrologici condotti secondo la procedura di analisi regionale VAPI.

I risultati vengono riassunti nella tabella che segue dove emerge come i valori di portata calcolati con la seconda procedura risultino sempre maggiori e sono quindi stati considerati per i successivi dimensionamenti idraulici, poiché ritenuti più cautelativi.

Si precisa fin da subito che la portata del bacino con ID = 10 afferente attualmente al manufatto esistente alla progressiva della linea storica "KM 231+609" è raccolta, in ragione anche della modesta entità, tramite la canaletta in sommità alla paratia di pali della NV02 e recapitata al tombino NI02. Il manufatto al KM 231+609 (ovvero alla progressiva di progetto km 2+892.6) è previsto in demolizione e dismissione; non ne è previsto l'adeguamento per incompatibilità con il profilo del piano ferro di progetto.

Pertanto, la portata di verifica dei nuovi manufatti NI02 e IN08 sarà pari alla somma dei contributi dei bacini con ID = 9 e 10.

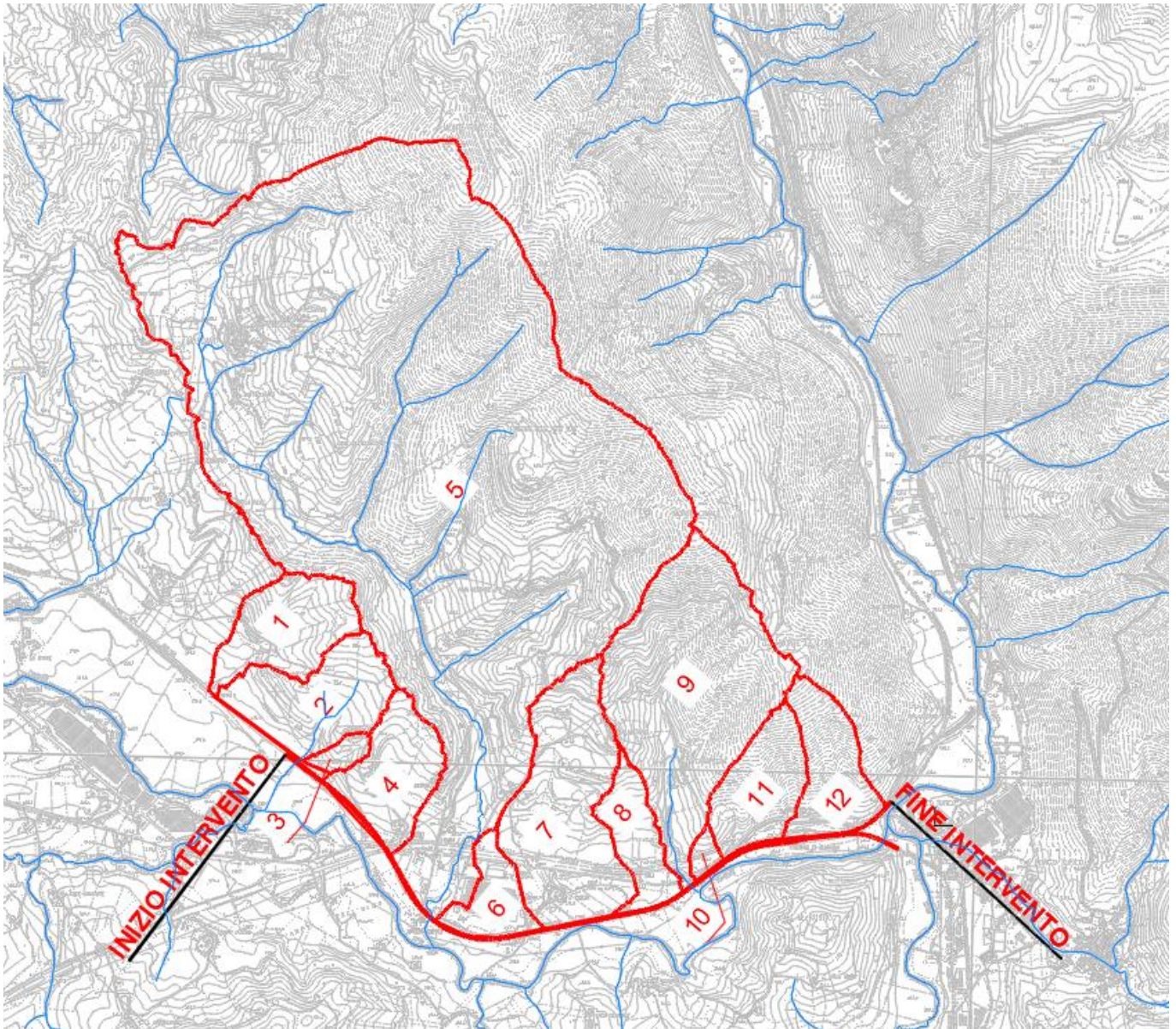


Figure 1 Individuazione aree contribuenti relative agli attraversamenti ferroviari.

ID bacino	Progressiva km	Pn GUMBEL (mm)	Pn VAPI (mm)	Q GUMBEL (mc/s)	Q VAPI (mc/s)	WBS manufatto
1	0+850 (NVP01)	6.86	9.12	2.48	3.29	NI05
2	0+0785 1+450 (NVP01)	6.86	9.12	2.86	3.80	IN01 NI06
3	0+241.8 1+600 (NVP01)	6.86	9.12	0.34	0.45	IN02 NI07
4	0+729.3 0+025 (NV01)	6.85	9.12	2.34	3.12	IN03 NI04
5	1+212	4.90	6.47	23.39	30.87	IN04
6	1+863.4	6.85	9.12	1.22	1.62	IN05
7	2+154.5	6.32	9.12	4.84	6.98	IN06
8	2+578.9 0+114.5 (NV02)	6.10	9.12	1.31	1.97	IN07 NI01
9	2+712.0 0+240.5 (NV02)	6.10	9.12	7.31	10.93	IN08 NI02
10	2+892.6 0+420 (NV02)	6.10	9.12	0.22	0.33	IN08 NI02
11	3+212.3	6.10	9.12	1.92	2.87	IN10
12	3+700 0+946 (III B)	6.10	9.12	1.90	2.85	IN11 IN12

Tab. 1 – Valori di portata ottenuti per i sottobacini

5. ANALISI INTERFERENZE IDRAULICHE

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i criteri di verifica, gli approcci metodologici, i parametri idraulici e le formule applicative utilizzate per il dimensionamento degli attraversamenti di progetto e lo studio dell'interazione tra il reticolo idrografico superficiale e la linea ferroviaria e stradale di progetto.

I criteri di dimensionamento delle opere di attraversamento e presidio in corrispondenza dei corsi d'acqua minori realizzati con tombini consistono essenzialmente in:

- evitare la formazione di rigurgiti in corrispondenza delle portate di progetto;
- prevedere adeguati raccordi a monte e a valle dell'opera.

Nel dimensionamento delle opere si è cercato di non determinare restringimenti significativi delle sezioni del corso d'acqua verificando che i massimi livelli per l'evento di progetto garantiscano un corretto deflusso. Ove necessario, sono stati previste deviazioni e raccordi tra incisione naturale e manufatto in cls, realizzati anche mediante sistemazioni a gradoni in massi cementati, come descritto negli elaborati grafici specifici.

Infine, per i manufatti con scarico di valle in prossimità di aree soggette ad esondazione è stata valutata anche l'interazione con la quota di esondazione ($Tr = 200$ anni) del T. Giano, al fine di evitare eventuali fenomeni di rigurgito.

5.1 Manuale di progettazione ferroviario

Come previsto dal Manuale di Progettazione ferroviario ogni tipo di manufatto idraulico è stato verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno Tr :

Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- *linea ferroviaria $Tr= 200$ anni*
- *deviazioni stradali $Tr=200$ anni*

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento secondarie il manuale prevede quanto segue:

“Le tipologie ammesse sono:

- *tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5m;*
- *tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2m;*

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – ALBACINA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0E	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B

La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore al 2‰ e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.

La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata massima di piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.”

Per la sistemazione idraulica di torrenti e fossi esistenti prescrive inoltre.

“La sistemazione idraulica dei torrenti naturali esistenti potrà comportare, sulla base della morfologia locale e della tipologia della linea ferroviaria, la deviazione dell'asta incisa ovvero opere di raccordo a monte ed a valle dello scatolare di attraversamento.

Le deviazioni e le opere di raccordo dovranno essere realizzate in modo da garantire la stabilità dell'alveo e la sicurezza della infrastruttura ferroviaria nei confronti di fenomeni di esondazione e/o di erosione; quindi la forma delle sezioni, i valori di pendenza dell'alveo e delle sponde, il progetto dei salti e delle opere di rivestimento e stabilizzazione, la tipologia delle opere e i materiali utilizzati dovranno essere compatibili con le caratteristiche morfologiche del corso d'acqua e la sua tendenza evolutiva.

I raccordi a monte ed a valle degli scatolari dovranno essere dimensionati in modo tale da consentire comunque il deflusso a superficie libera senza fenomeni di rigurgito.

Qualora il dislivello tra la quota di fondo del tombino e la quota di fondo fosso, in corrispondenza della sezione di imbocco, sia di particolare rilievo ($\Delta H > 20\%$ dell'altezza dello scatolare), si dovranno prevedere a monte del tombino uno o più salti di fondo di appropriata altezza.”

5.2 Verifiche idrauliche

I fenomeni di deflusso in esame si caratterizzano per la prevalenza di una dimensione rispetto alle altre, ed appare quindi ragionevole l'accettazione della ipotesi di mono-dimensionalità del moto.

Nei paragrafi seguenti verranno quindi espone le metodologie impiegate per le verifiche idrauliche oggetto della presente relazione, evidenziando le ipotesi adottate di semplificazione ed i criteri di valutazione assunti per la quantificazione dei parametri.

Per tutti gli attraversamenti minori, oggetto di questa relazione, è stata effettuata dapprima un dimensionamento in moto uniforme e, in seguito, modelli di simulazione con due diversi software:

- simulazione **Hec-Ras 1D** per gli attraversamenti principali, dove le sezioni batimetriche restituite dal rilievo risultavano sufficienti;
- verifica **HY-8** per gli attraversamenti minori, dove le condizioni di valle erano definite.

Al § 5.2.1 sono riportate le verifiche eseguite a moto uniforme; nell'Allegato A è possibile consultare il report riassuntivo degli output del software HY-8 e nell'Allegato B sono riportati i risultati ottenuti secondo modellazione eseguita tramite il software Hec-Ras (sezioni e profili di moto).

5.2.1 Verifiche idrauliche in moto uniforme

Per il dimensionamento e la verifica dei manufatti idraulici in condizioni di moto uniforme, è stato fatto riferimento alla formula di Gauckler-Strickler:

$$Q = A \cdot k_s \cdot \sqrt{i_f} \cdot (R_H)^{2/3}$$

dove le grandezze indicate sono:

Q portata [m³/s];

R_H raggio idraulico [m];

A sezione idraulica bagnata [m²];

i pendenza [m/m];

K_s coefficiente di scabrezza, posto cautelativamente pari a 50 m^{1/3}/s per considerare le condizioni di usura dovute all'esercizio.

Tombini idraulici

Considerando, dove possibile, le dimensioni minime indicate nel manuale di progettazione e un riempimento massimo dei manufatti pari al 70%, in tabella vengono riportate le verifiche in moto uniforme dei manufatti di progetto.

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m ³ /s)	Sezione		I _f (m/m)	Rh (m)	Tirante y	GR %
			B	H				
IN01	0+0785	3.80	3.0	1.5	0.0070	0.404	0.554	36.90%
IN02	0+220	0.45	2.0	2.0	0.0100	0.141	0.164	8.22%
IN03	0+729.3	3.12	2.0	2.0	0.0050	0.435	0.769	38.45%
IN04	1+211.4	30.87	4.5	2.5	0.0100	0.893	1.480	59.20%
IN05	1+863.44	1.62	2.0	2.0	0.0050	0.326	0.484	24.19%
IN06	2+247.5	6.98	2.0	2.0	0.0250	0.435	0.769	38.46%
IN07	2+578.9	1.97	2.0	2.0	0.0100	0.303	0.435	21.77%
IN08	2+712.0	11.26	4.0	2.0	0.0030	0.667	0.796	50.00%
IN10	3+212.3	2.87	2	2	0.0100	0.4	0.565	28.26%
IN11	3+700	2.85	2.0	2.0	0.0020	0.502	1.008	50.39%
IN12	0+946 (IIIB)	2.85	2.0	2.0	0.0020	0.502	1.008	50.39%

Tab. 2 – Verifica idraulica dei tombini ferroviari (moto uniforme)

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m ³ /s)	Sezione		I _f (m/m)	Rh (m)	Tirante y	GR %
			B	H				
NI01	0+114.5 (NV02)	1.97	2.0	1.0	0.010	0.303	0.435	43.53%
NI02	0+240.5 (NV02)	11.26	4.0	2.0	0.010	0.569	0.796	39.78%
NI04	0+025 (NV01)	3.12	2.0	2.0	0.005	0.435	0.769	38.45%
NI05	0+850 (NVP01)	3.29	2.0	1.5	0.005	0.444	0.800	53.31%
NI06	1+450 (NVP01)	3.80	3.0	1.5	0.007	0.404	0.554	36.90%
NI07	1+600 (NVP01)	0.45	2.0	2.0	0.010	0.141	0.164	8.22%

Tab. 3 – Verifica idraulica dei tombini stradali (moto uniforme)

Come si evince dalla tabella sopra riportata, a moto uniforme, tutti i manufatti risultano ampiamente verificati, con valori del grado di riempimento inferiori all'70%.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – ALBACINA					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0E	LOTTO 00 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 13 di 56

5.2.2 Verifiche idrauliche con il software HY-8

Tale software consente di simulare il deflusso che avviene all'interno di un tombino in condizioni di moto permanente, sfruttando l'equazione di conservazione dell'energia secondo la metodologia messa a punto dall'agenzia americana U.S. Federal Highway Administration.

Il funzionamento idraulico dei manufatti di attraversamento a sezione chiusa dipende da numerosi fattori quali:

- la pendenza;
- la sezione;
- la forma;
- la scabrezza ;
- i livelli liquidi a monte e a valle del collettore.

La verifica proposta dalla FHWA (Federal Highway Administration) ossia l'Agenzia del Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti, che detta i criteri e gli standard di progettazione delle strade, intende stabilire il tipo di funzionamento del tombino, che può essere controllato da monte (inlet control) o da valle (outlet control) e ricavare in base ad esso il grado di riempimento della sezione.

Il programma HY-8 ha quindi lo scopo di consentire un supporto alla progettazione ed alla verifica delle intersezioni dei corsi d'acqua minori con le infrastrutture viarie come strade e ferrovie. Il software utilizza le routines, in accordo ai criteri della FHWA definiti nelle pubblicazioni seguenti: HDS-5, "Hydraulic Design of Highway Culverts," e HEC-14, "Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels".

I principali risultati che si possono ottenere tramite questo programma sono:

- determinare la dimensione, la forma ed il numero di opere d'arte (tombini e scatolari) necessari a far defluire la portata di progetto;
- definire la capacità di deflusso di un manufatto esistente imponendo il livello idrico ammissibile di monte;
- calcolare il livello idrico raggiunto a monte del manufatto per far defluire una determinata portata, sia in condizioni di normale deflusso che in condizioni di acqua ferma all'imbocco;

- determinare la scala di portata o altre relazioni tra le principali variabili idrauliche per determinare il livello di rischio della struttura;
- determinare il profilo idrico della portata transitante nell'opera.

Metodologia utilizzata

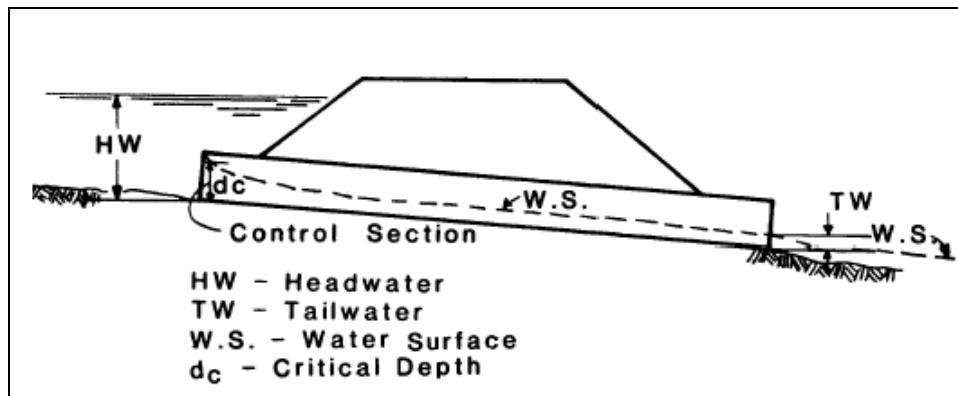


Figure 2 Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso

Il “controllo da monte” si realizza quando il tombino può convogliare più portata di quanta transiti attraverso l'ingresso. La sezione di controllo si localizza appena oltre l'ingresso come sezione ad altezza critica e prosegue in regime supercritico.

Il “controllo da valle” invece si verifica quando il tombino non è in grado di convogliare tanta portata quanta ne accetta l'ingresso. La sezione di controllo si localizza allora all'uscita del tombino o più a valle. In queste condizioni il moto può essere sia a pelo libero che in pressione.

Per calcolare il livello idrico a monte del manufatto vengono utilizzati dei diagrammi sperimentali (*Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA*).

Il software HY-8 determina, per diversi valori della portata, il tipo di controllo (inlet/outlet) che si instaura nella canna e fornisce per esso il profilo della superficie idrica lungo la canna, nonché il tirante all'imbocco e allo sbocco.

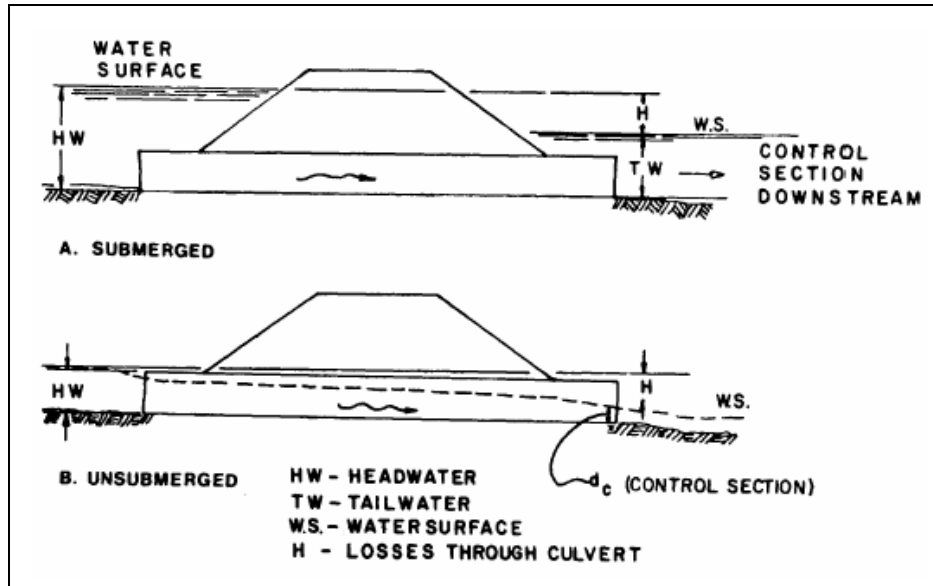


Figure 3 Esempio di moto controllato da sezioni a valle del tombino

Nell'analisi delle strutture di progetto di nuovi tombini è fondamentale conoscere la condizione al contorno di valle. Il programma permette di assegnare al livello idrico di valle un valore costante (caso tipico dell'immissione in un lago o in un altro fiume, o in un manufatto di sbocco in cui per la sezione di partenza del canale di allontanamento si possono ipotizzare condizioni di acqua ferma e quindi componente cinetica iniziale nulla.) o l'altezza di moto uniforme che si sviluppa nel canale di valle.

Calcolo idraulico per tombini con controllo all'ingresso

Le equazioni del deflusso dipendono dal fatto che l'imbocco del tombino sia sommerso o meno.

Il manuale HDS-5, già citato, fornisce le equazioni sulla base del parametro (non adimensionale):

$$Q / AD^{0.5}$$

Dove Q [ft³/s] è la portata, A [ft²] è la sezione del tombino e D [ft] è l'altezza interna.

Riferendoci alle unità del SI, le equazioni usate dal software assumono le seguenti forme:

Se $Q / AD^{0.5} < 1,932$ l'imbocco è non sommerso, e si utilizza:

$$Hw_i = Hc/D + K[1,81 Q/AD^{0.5}] - 0,5 S$$

Se $Q / AD^{0,5} > 2,208$ l'imbocco è sommerso, e si utilizza:

$$Hw_i = c[1,81 Q / AD^{0,5}]^2 + Y - 0,5 S$$

Se infine $1,932 < Q / AD^{0,5} < 2,208$ si è in una zona di transizione e si effettua una interpolazione lineare tra le due equazioni precedenti.

I termini utilizzati nelle equazioni indicano:

- Hw_i = altezza idrica prima dell'imbocco, nel caso di velocità in arrivo nulla;
- H_c = energia critica;
- S = pendenza della condotta;
- K, M, Y, c = coefficienti dipendenti dalla forma dell'imbocco, dai materiali e dall'equazione usata.

Calcolo idraulico per tombini con sezione di controllo a valle

Il calcolo viene eseguito sulla base della conservazione dell'energia (simboli indicati in figura):

$$Hw_0 + \frac{v_u^2}{2g} = TW + \frac{v_d^2}{2g} + H_L$$

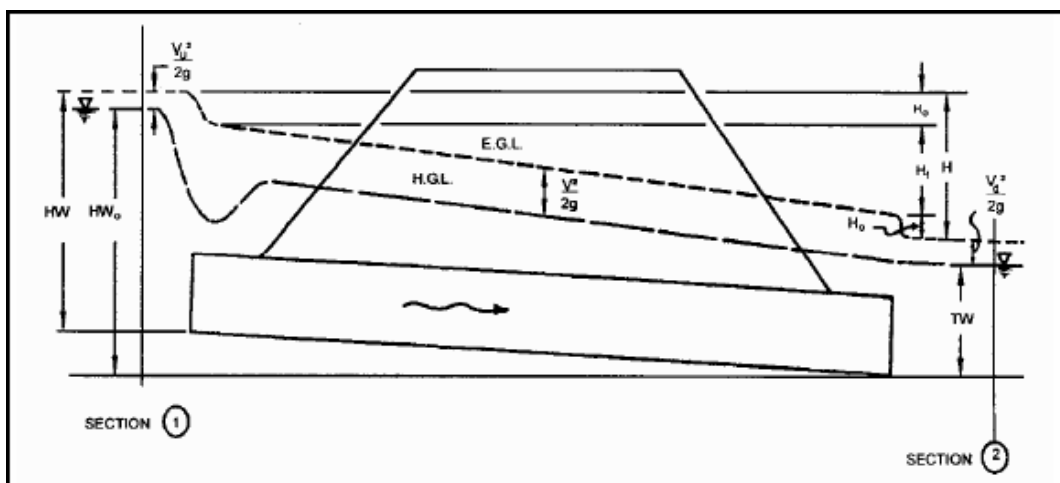


Figure 4 Variabili di riferimento per l'equazione di conservazione dell'energia

Il pelo libero di moto permanente viene integrato utilizzando gli usuali metodi numerici e tenendo conto della pendenza dello stato rapido o lento della corrente e degli eventuali risalti idraulici.

Per calcolare la condizione al contorno di valle, che è fondamentale, come già detto, è possibile definire la sezione del canale e la sua scabrezza, sia per canali con sezione geometrica (rettangolare, trapezia, ecc.), sia per alvei naturali.

Il calcolo del moto uniforme si basa sulla formula di Manning:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

Dove:

- $v [m/s]$ = velocità media della corrente;
- $R [m]$ = raggio idraulico;
- S = pendenza della linea dell'energia;
- n = scabrezza. Per canali rivestiti in materassi è pari a 0,025, per canali rivestiti in cls pari a 0,02.

Nella tabella di seguito vengono riportate le verifiche degli scatolari idraulici effettuate mediante il software HY-8; i risultati completi dell'analisi sono riportati all'allegato A.

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m ³ /s)	Sezione		I _r (m/m)	Rh (m)	Tirante y	GR %
			B	H				
IN03	0+729.3	3.12	2.0	2.0	0.0050	0.422	0.73	36.5%
IN07	2+578.9	1.97	2.0	2.0	0.0100	0.31	0.45	22.5%

Tab. 4 – Verifica idraulica dei tombini ferroviari (HY8)

Analogamente alla verifica a moto uniforme, tutti i manufatti risultano ampiamente verificati, con gradi di riempimento inferiori al 70%, ovvero al 50 %.

5.2.3 Verifiche idrauliche mediante il software HEC-RAS

Il software utilizzato per lo studio dei profili delle sistemazioni idrauliche principali è HEC-RAS 1D, il quale è in grado di simulare l'andamento idraulico monodimensionale del tirante in canali naturali o artificiali in condizioni di fondo fisso, in regime subcritico, supercritico o vario.

Il profilo della superficie libera viene calcolato a partire da una sezione alla successiva, posta a monte o a valle a seconda che il regime sia, rispettivamente, subcritico o supercritico, risolvendo con una procedura iterativa nota come *standard step*, l'equazione che esprime il bilancio dell'energia della corrente, nota anche come equazione di Bernoulli e riportata di seguito:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- i pedici 1 e 2 indicano i valori relativi alla sezione di valle e di monte del tratto considerato;
- Y rappresenta il tirante;
- Z rappresenta la quota del fondo dell'alveo rispetto ad un riferimento prefissato;
- v rappresenta la velocità media nella sezione;
- α è il coefficiente di Coriolis;
- g è l'accelerazione di gravità;
- h_e rappresenta la perdita di energia complessiva tra la sezione di monte e quella di valle.

Le perdite complessive di energia h_e tra le due sezioni sono imputabili sia alle perdite continue, derivanti dagli attriti interni dovuti all'esistenza di strati a diversa velocità nell'interno della massa fluida, sia a quelle localizzate in genere dovute alla presenza in alveo di strutture che inizialmente producono un restringimento della corrente ed un successivo allargamento con formazione di vortici, che, come è noto, sono fenomeni dissipativi.

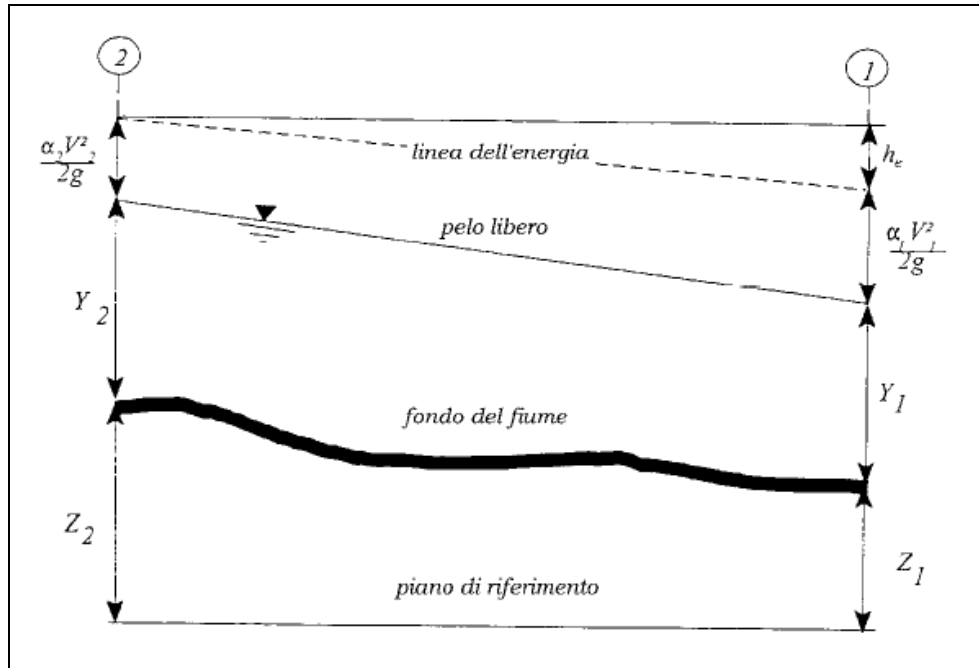


Figure 5 Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua

La perdita di carico complessiva tra le due sezioni viene infatti valutata come somma di due termini, il primo termine corrisponde alle perdite di carico distribuite ed il secondo termine corrispondente a perdite di carico concentrate:

$$h_e = L\bar{J} + C \left(\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right)$$

dove:

- L è la distanza tra le sezioni di calcolo;
- \bar{J} rappresenta la cadente media dell'energia specifica nel tratto compreso tra le due sezioni;
- C è il coefficiente di perdita dovuto all'espansione o contrazione della vena fluida.

Per la valutazione della perdita di carico J viene utilizzata la formula di Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR_h^{2/3} \sqrt{J}$$

da cui si ottiene:

$$J = \frac{nv}{R_h^{4/3}}$$

dove:

- Q è la portata;
- A è l'area della sezione bagnata;
- R_h è il raggio idraulico della sezione;
- n è il coefficiente di scabrezza di Manning e pari a $\frac{1}{K_s}$
con $K_s [m^{1/3}/s]$ = coefficiente di scabrezza

Nel caso di sezioni composte (come quella riportata in figura), tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti dove la velocità media possa essere ritenuta, a fini pratici, costante.

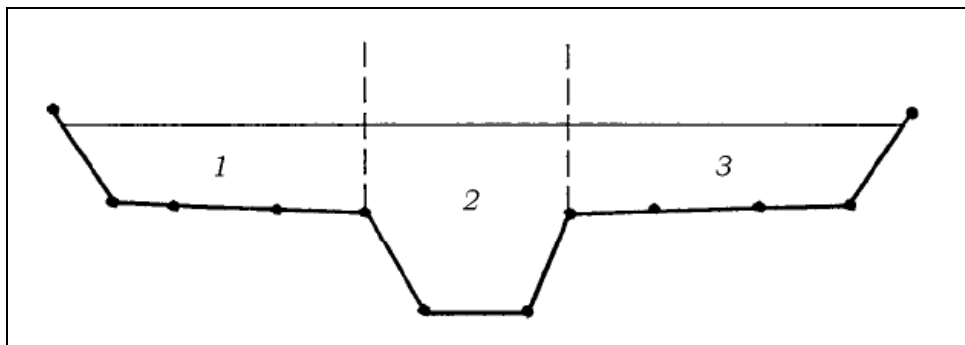


Figure 6 Sezione schematica di un corso d'acqua naturale

Con riferimento allo schema riportato, indicando con $K_i = Q_i / \sqrt{J}$ la capacità di portata di ogni i -esima parte in cui la sezione è stata suddivisa, si ottiene, in accordo con la formula di Manning:

$$K_i = \frac{1}{n} A_i R_{h,i}^{2/3}$$

Calcolata la capacità di portata si calcolano la perdita di carico per unità di lunghezza \bar{J} , il coefficiente di Coriolis α e le perdite di energia h_e ; l'equazione del bilancio dell'energia permette quindi di

calcolare Y_2+Z_2 , nella sezione di monte, essendo noto, in corrispondenza della sezione di valle, il valore

dell'energia totale, $Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$, quando ci si trovi in condizioni di corrente lenta. Al contrario per le correnti veloci l'incognita è la quota del pelo libero all'estremità di valle del tronco, essendo noti i valori a monte. Essendo l'equazione del bilancio dell'energia un'equazione non lineare, la soluzione viene ottenuta con ciclo iterativo, che parte da una soluzione iniziale approssimata di primo tentativo.

Il software HEC- RAS utilizza, parallelamente all'equazione di bilancio dell'energia, anche l'equazione di bilancio della quantità di moto. Tale equazione viene utilizzata più in particolare, in tutte quelle situazioni in cui il profilo di corrente è rapidamente variabile, come nei risalti idraulici o nelle confluenze, e, pertanto non risulta più possibile applicare in maniera affidabile il principio di conservazione dell'energia. Ogni volta che si verifica il passaggio da un regime di corrente veloce ad un regime di corrente lenta o viceversa il programma HEC-RAS automaticamente applica l'equazione della quantità di moto.

Questa equazione deriva dalla seconda legge di moto di Newton:

$$\sum F_x = ma$$

L'applicazione di tale legge al volume di controllo indicato in Figure 7 riferita all'unità di tempo, permette di ricavare l'equazione della quantità di moto:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta v_x$$

dove:

- P : pressione idrostatica nelle sezioni 1 e 2;
- W_x : forza peso proiettata nella direzione del moto;
- F_f : risultante degli sforzi tangenziali agenti sulla superficie bagnata del tratto considerato;
- Q : portata;
- ρ : densità dell'acqua;
- Δv_x : variazione di velocità tra la sezione 2 e la sezione 1.

Esplicitando i vari termini dell'equazione si ottiene:

$$\gamma \cdot A_2 \bar{Y}_2 - \gamma \cdot A_1 \bar{Y}_1 + \gamma \cdot \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot LS_0 - \gamma \cdot \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot LS_f = \frac{Q_1 \gamma}{g} \beta_1 V_1 - \frac{Q_2 \gamma}{g} \beta_2 V_2$$

dove:

- γ : peso specifico dell'acqua;
- A_1, A_2 : area bagnata delle sezioni 1 e 2;
- \bar{Y}_1, \bar{Y}_2 : profondità d'acqua misurata dal pelo libero al baricentro della sezione;
- L : distanza tra la sezione 1 e la sezione 2 misurata lungo x ;
- S_0 : pendenza dell'alveo, data da $\frac{z_2 - z_1}{L}$, con z_1 e z_2 quota del fondo nelle sezioni 1 e 2;
- S_f : pendenza della linea dei carichi;
- β_1, β_2 : coefficienti correttivi della quantità di moto per tenere conto della non uniforme distribuzione della velocità nella sezione.

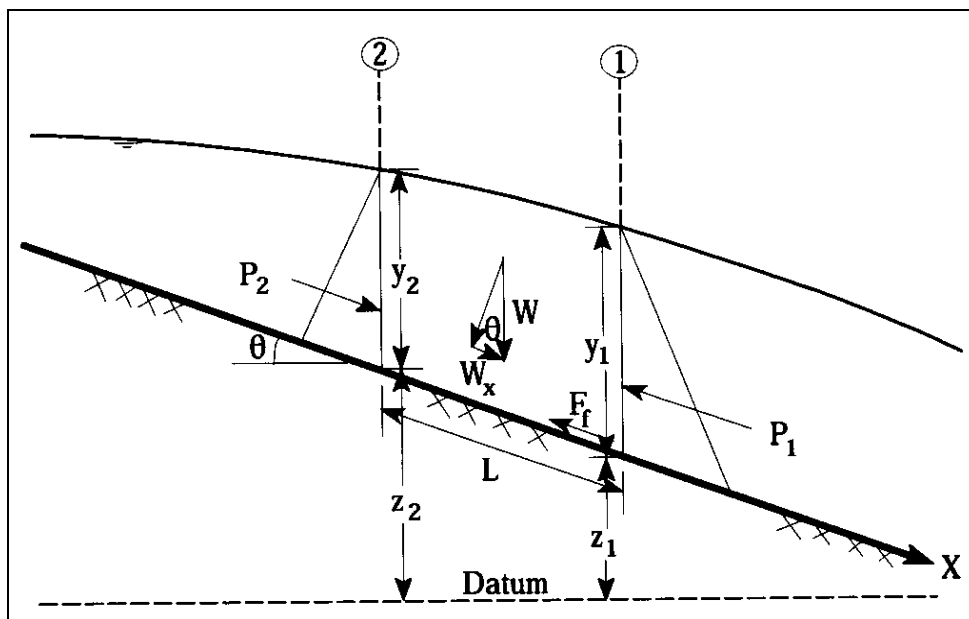


Figure 7 Forze in gioco nell'applicazione del principio della quantità di moto

I dati di input del programma HEC-RAS, necessari per la simulazione dei profili d'acqua con fondo fisso, comprendono dati sia di tipo geometrico che di tipo idraulico riguardanti l'intero tratto di alveo che si intende studiare.

Una volta inserite la geometria delle sezioni, si passa all'inserimento dei dati riguardanti le portate in ingresso, le condizioni al contorno ed i coefficienti di scabrezza.

Portate in ingresso

Le portate con le quali sono state effettuate le simulazioni del profilo idraulico delle sistemazioni idrauliche principali sono quelle calcolate per Tr 200 anni.

Condizioni al contorno

Il programma richiede, per la modellazione, la scelta del tipo di condizione al contorno, cioè l'assegnazione in una determinata sezione, di un valore noto del livello idrico da cui far procedere il calcolo dei livelli incogniti (partendo da valle se la corrente è subcritica, o viceversa da monte se la corrente è supercritica) e del tipo di regime di flusso. Le possibili condizioni al contorno da assegnare sono essenzialmente tre:

- un livello idrico noto;
- il livello idrico di moto uniforme per l'assegnata portata e pendenza di fondo nota;
- il livello di stato critico per l'assegnata portata.

La prima condizione si verifica quando il corso d'acqua in esame è collegato (a monte o a valle) ad un recipiente idrico (corso d'acqua maggiore, serbatoio o lago) il cui livello possa considerarsi invariante nel tempo; la stessa condizione può essere applicata anche quando il livello da assegnare sia noto perché misurato in situ.

Quando non sia disponibile un valore noto del livello, è possibile ipotizzare l'instaurarsi delle condizioni di moto uniforme nel tratto a valle (per le correnti lente) o in quello a monte (per le correnti veloci), anche se data la natura variabile delle correnti, i corsi d'acqua naturali sono sempre molto lontani dalle condizioni ideali del moto uniforme. Più facilmente nei corsi d'acqua naturali si possono trovare situazioni morfologiche per le quali si stabiliscono, per la corrente, condizioni di deflusso in stato critico che costituiscono sezioni di controllo dal punto di vista idraulico.

Per i modelli delle sistemazioni in oggetto è stata imposta come condizione di monte quella di moto uniforme, considerando come pendenza del fondo quella ottenuta dalle sezioni batimetriche del rilievo nel tratto finale di studio, mentre a valle è stata imposta la quota del tirante del Fiume Esino per Tr 200 anni, per poter valutare eventuali fenomeni di rigurgito.

Per quanto riguarda invece il regime di corrente è stata scelta una condizione di corrente mista.

Scabrezza idraulica dell'alveo

La scabrezza idraulica fornisce informazioni riguardo la scabrezza del fondo dell'alveo. Una formula ampiamente utilizzata in alvei fluviali, con riferimento al coefficiente $K_s = \frac{1}{n}$ di Gauckler-Strickler, è la formula di Meyer-Peter e Müller, riferita al d_{90} , diametro che meglio rappresenta la scabrezza:

$$K_s = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

Tuttavia la definizione del coefficiente richiede attenzione in quanto la scabrezza intrinseca di grano non è l'unica causa di resistenza al moto; nella determinazione di un coefficiente globale di resistenza entrano in gioco anche altri fattori quali:

- la vegetazione in termini di altezza, densità, distribuzione e tipologia della stessa;
- forme di fondo e variazioni di forma come dimensione della sezione trasversale con contigui allargamenti e restringimenti che si succedono lungo il corso d'acqua;
- ostruzioni, quali macigni, alberi, pile di ponti, sbarramenti, ecc;
- regolarità del contorno in termini di regolarità dell'andamento planimetrico sinuoso o a meandri.

Per le analisi in oggetto si sono considerati i seguenti valori di scabrezza:

- alveo inciso in terra **n= 0,029** che corrisponde a un $K_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- rivestimento in cls **n=0,020**, che corrisponde a un $K_s = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- golene **n=0,045**, che corrisponde a un $K_s=22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Nei capitoli successivi verranno analizzate le sistemazioni idrauliche principali, per le quali è stata effettuata un'analisi delle condizioni *ante* e *post operam* con modello 1D.

6. ANALISI SISTEMAZIONI IDRAULICHE PRINCIPALI

6.1 Tombino IN01

All'inizio del tratto oggetto di intervento è stato studiato l'attraversamento del corso d'acqua interferente con la linea storica esistente (condizioni ante operam) e con i tracciati ferroviario e stradale di progetto (post operam). Il tratto oggetto di modellazione inizia circa 130 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria e si estende fino circa 170 m a valle delle opere idrauliche verificate.

6.1.1 Condizioni ante operam

Per l'analisi delle condizioni ante operam le sezioni di studio sono quelle batimetriche restituite dal rilievo, così come le dimensioni dei manufatti esistenti.

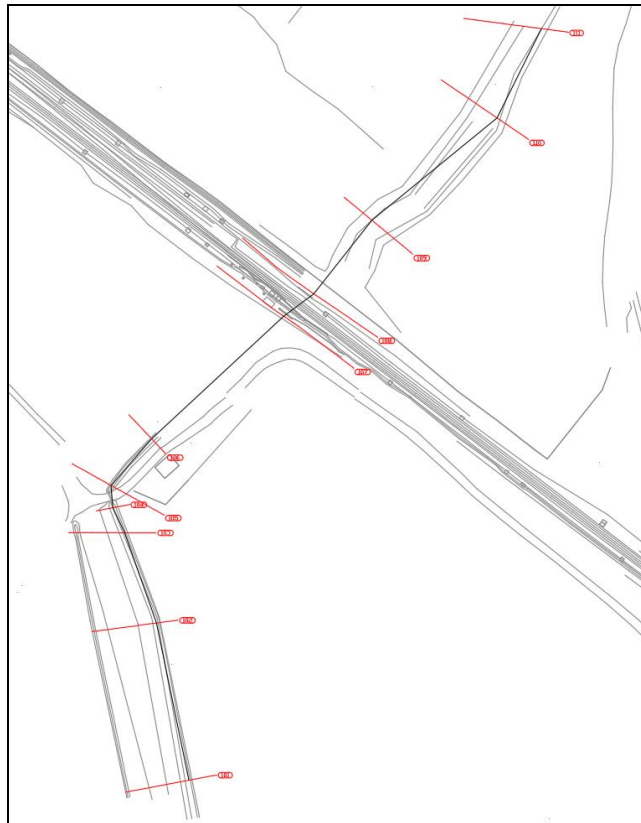


Figure 8 Schema planimetrico dell'asse IN01 e delle sezioni trasversali in condizioni Ante Operam

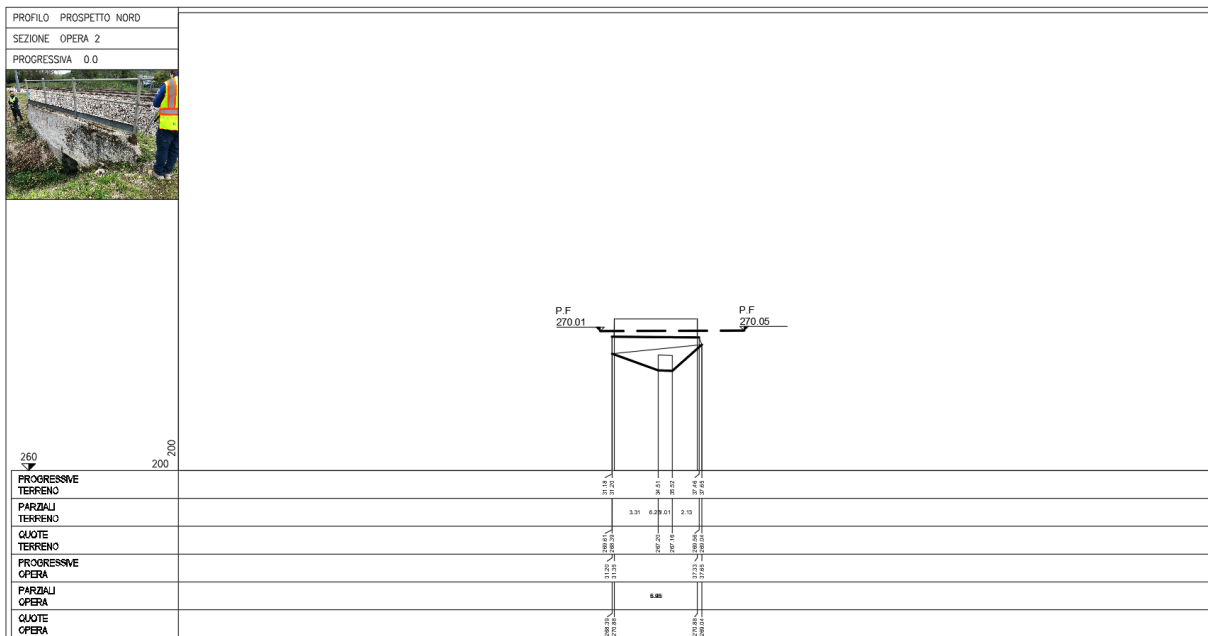
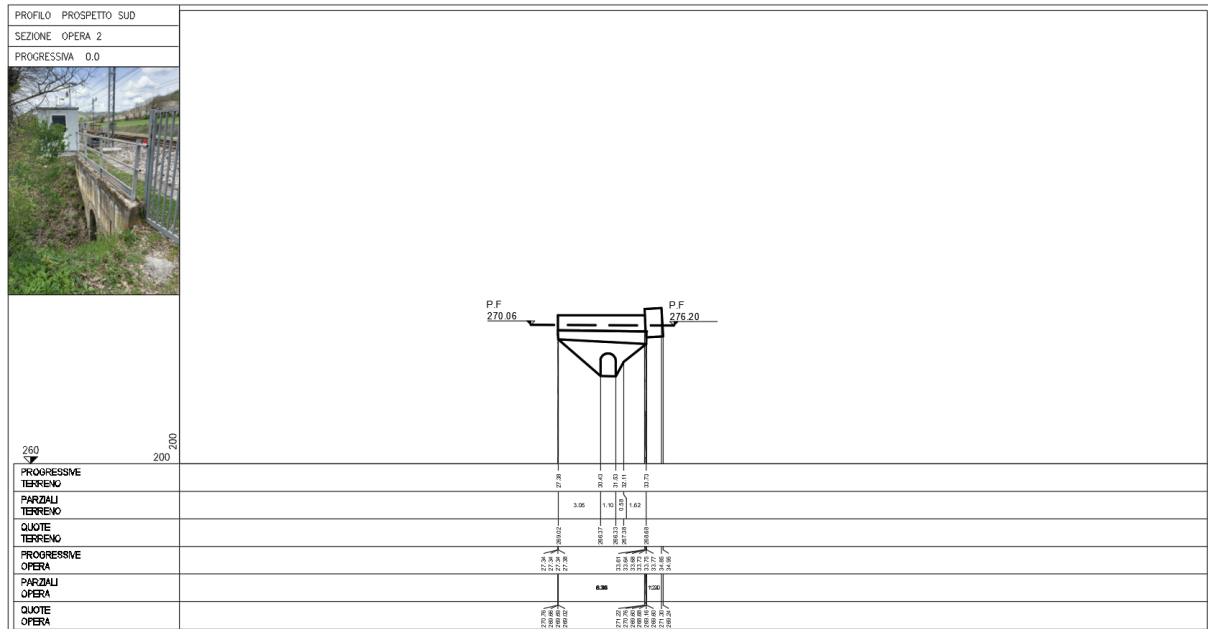


Figure 9 Sezioni di monte e valle dell'attraversamento idraulico esistente

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Y (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN01_AO	111	3.8	283.51	283.93	0.42	284.52	0.10003	3.4	2.38
IN01_AO	110	3.8	277.16	277.6	0.44	278.65	0.166328	4.54	3.08
IN01_AO	109	3.8	270.6	270.84	0.24	271.3	0.115597	3	2.46
IN01_AO	108	3.8	267.2	270.04	2.84	270.04	0.000026	0.17	0.05
IN01_AO	107	3.8	266.4	267.27	0.87	267.55	0.016175	2.37	1
IN01_AO	106	3.8	264.43	265.15	0.72	265.58	0.02696	2.89	1.25
IN01_AO	105	3.8	263.48	263.87	0.39	263.93	0.017044	1.57	0.98
IN01_AO	104	3.8	262.67	263.5	0.83	263.78	0.015895	2.35	1
IN01_AO	103	3.8	262.17	262.74	0.57	263.37	0.04891	3.5	1.74
IN01_AO	102	3.8	260.41	260.92	0.51	261.41	0.061549	3.43	1.98
IN01_AO	101	3.8	258.19	258.51	0.32	258.71	0.039048	2	1.48

Figure 10 Risultati simulazione HEC-RAS IN01 ante operam

Dal profilo allegato emerge come l'opera di attraversamento esistente non sia idraulicamente sufficiente a smaltire la portata di progetto, così come la maggior parte delle sezioni a valle della stessa; le aree di deflusso dovranno quindi essere adeguate. L'alveo esistente non risulta inoltre influenzato dai livelli di piena del Torrente Giano.

6.1.2 Condizioni post operam

Nell'analisi delle condizioni post operam è stata considerata una sistemazione idraulica a monte del tombino che consideri il futuro intervento di raddoppio della tratta PM228-Castelplanio - Lotto 1. Per questo motivo si è resa necessaria una sistemazione a gradoni a circa 20 m a monte dell'imbocco di progetto per permettere di raggiungere un'adeguata quota di ingresso per il futuro prolungamento.

A valle è inoltre presente un ulteriore scatolare idraulico (NI06) per l'attraversamento della viabilità di progetto NVP01, parallela al tracciato ferroviario.

A valle di entrambi i manufatti è previsto un raccordo all'alveo esistente mediante un canale trapezoidale in massi cementati.

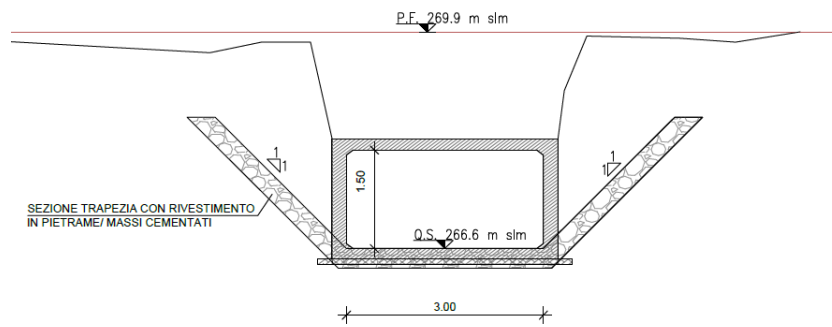


Figure 11 Sezione sistemazione idraulica IN01 – valle

Le sezioni di studio sono state quindi costruite in corrispondenza dei punti significativi dell'intervento: monte e valle di gradoni e tombini e lungo la sistemazione di raccordo.



Figure 12 Schema planimetrico dell'asse IN01 e delle sezioni trasversali in condizioni Post Operam

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Y (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN01A_PO	111	3.8	283.51	283.9	0.39	284.7	0.150288	3.96	2.88
IN01A_PO	110	3.8	277.16	277.6	0.44	278.66	0.167262	4.55	3.09
IN01A_PO	109	3.8	270.6	270.84	0.24	271.3	0.117079	3.01	2.47
IN01A_PO	108.9	3.8	268.7	268.94	0.24	271.08	0.378187	6.47	4.58
IN01A_PO	108.1	3.8	268.5	268.72	0.22	270.39	0.318883	5.73	4.18
IN01A_PO	108	3.8	267	267.22	0.22	270.21	0.219799	7.65	5.45
IN01A_PO	107.9	3.8	266.94	267.14	0.2	269.19	0.162766	6.34	4.53
IN01A_PO	107.5	3.8	266.8	267.25	0.45	267.66	0.013395	2.84	1.36
IN01A_PO	107.1	3.8	266.6	267.19	0.59	267.43	0.005731	2.14	0.89
IN01A_PO	107	3.8	266.53	267.22	0.69	267.39	0.003639	1.83	0.7
IN01A_PO	106.55	3.8	266.4	266.95	0.55	267.22	0.006448	2.31	1
IN01A_PO	106	3.8	264.43	264.74	0.31	266.15	0.039283	5.25	3.2
IN01A_PO	105	3.8	263.48	263.87	0.39	263.93	0.017032	1.57	0.98
IN01A_PO	104	3.8	262.67	263.5	0.83	263.78	0.015883	2.35	1
IN01A_PO	103	3.8	262.17	262.81	0.64	263.27	0.032062	3.01	1.43
IN01A_PO	102	3.8	260.41	260.94	0.53	261.35	0.050117	3.17	1.8
IN01A_PO	101	3.8	258.19	258.5	0.31	258.71	0.040378	2.02	1.51

Figure 13 Risultati simulazione HEC-RAS IN01 Post operam

Il deflusso nelle condizioni di progetto avviene in corrente veloce per tutto il tratto di sistemazione a gradoni, passando in condizioni di corrente lenta all'uscita del primo manufatto e attraversandolo con un tirante di **0.59** m (grado di riempimento 39%). Il secondo tombino (NI06) è attraversato invece in condizioni prossime alla critica, con un tirante pari a **0.57** m (grado di riempimento 38 %).

Come ulteriore verifica, è stato valutato anche il comportamento della configurazione finale in seguito alla realizzazione dell'intervento di raddoppio del Lotto 1 della tratta PM228-Castelplanio (mostrato nella figura seguente). Nel profilo di seguito viene riportato il risultato di tale simulazione, evidenziando come la sistemazione proposta sia adeguata anche per il futuro intervento.



Figure 14 Interventi di raddoppio della tratta PM228-Castelplanio (Lotto 1, PM228-Bivio Nord Albacina) e della tratta PM228-Albacina.

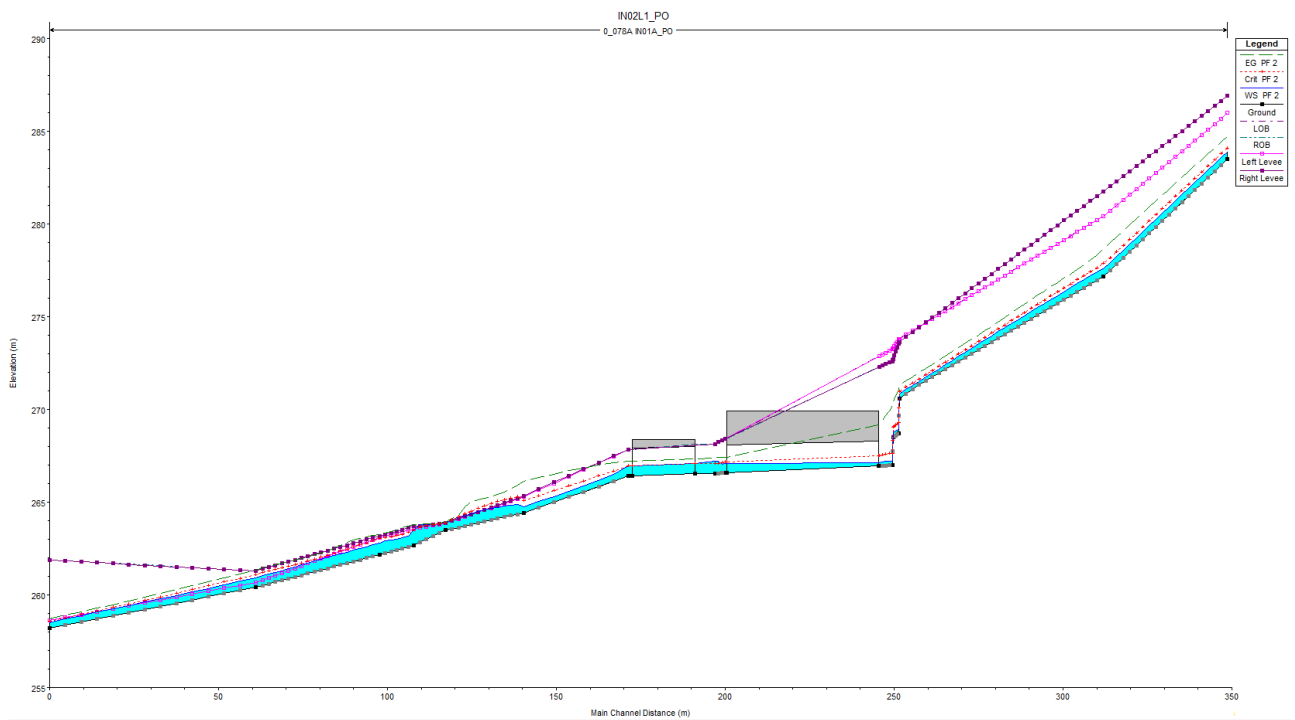


Figure 15 Profilo IN01 in seguito all'intervento di realizzazione di raddoppio della tratta PM228-Castelplanio - Lotto 1

6.2 Tombino IN04

In corrispondenza della pk 1+211, è stata studiato l'attraversamento del corso d'acqua interferente con la linea storica esistente (condizioni *ante operam*) e con l'allargamento di progetto (*post operam*). Il tratto oggetto di modellazione inizia circa 360 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria di progetto e si estende fino a circa 120 m a valle del manufatto idraulico.

6.2.1 Condizioni ante operam

Per l'analisi delle condizioni ante operam le sezioni di studio sono quelle batimetriche restituite dal rilievo, così come le dimensioni dei manufatti esistenti.

Nella configurazione attuale il tombino idraulico risulta utilizzato come viabilità a servizio dell'abitato a sud dell'infrastruttura ferroviaria.

Il corso d'acqua interferente è stato quindi deviato in un ulteriore manufatto che permette di oltrepassare la ferrovia al di sotto del tombino stesso.

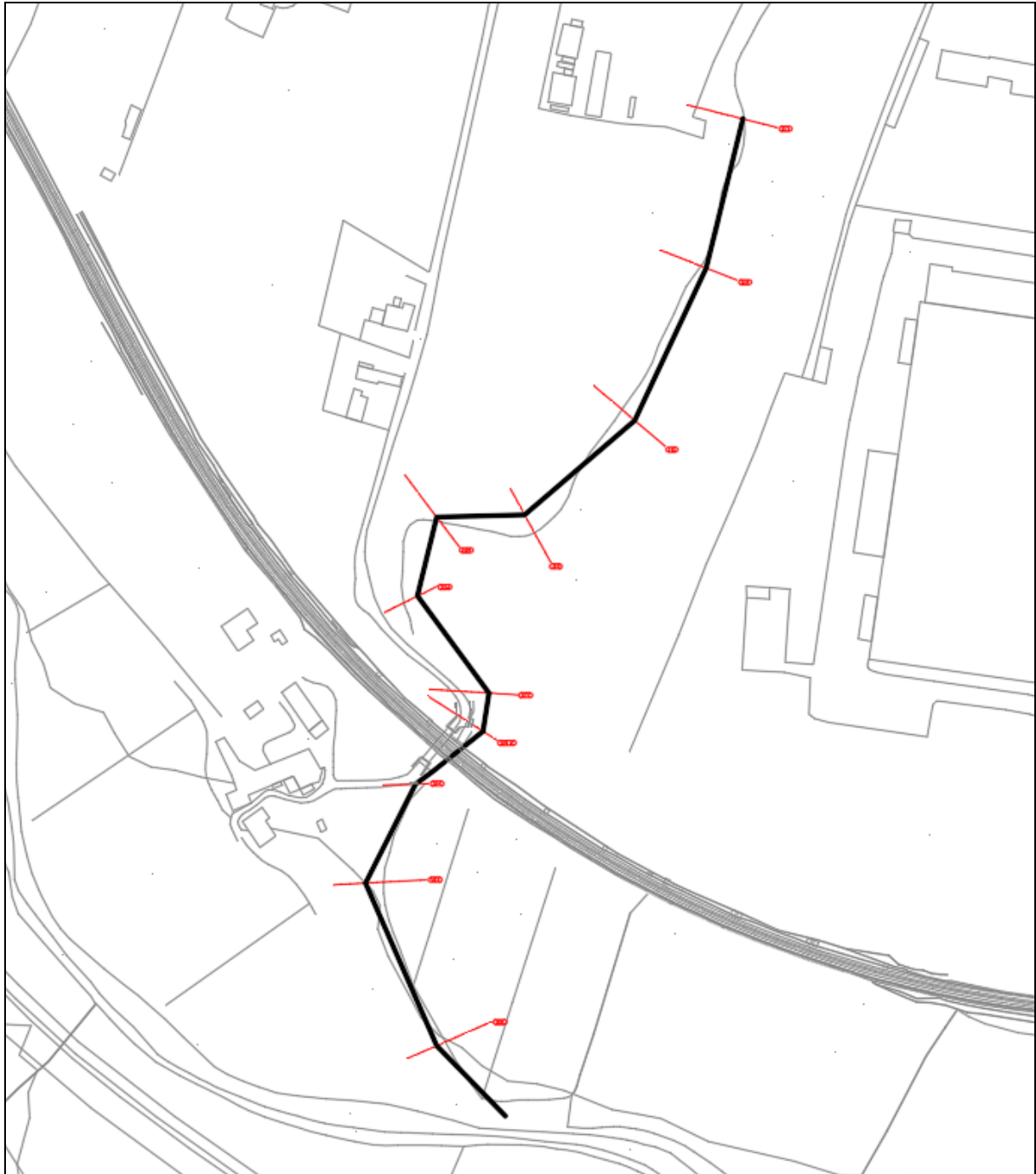
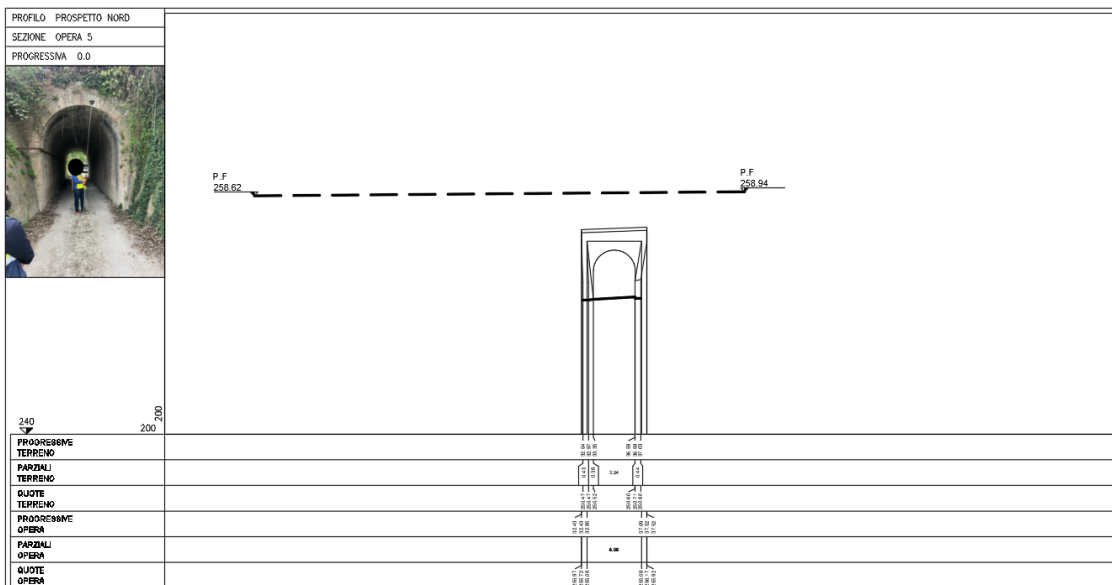
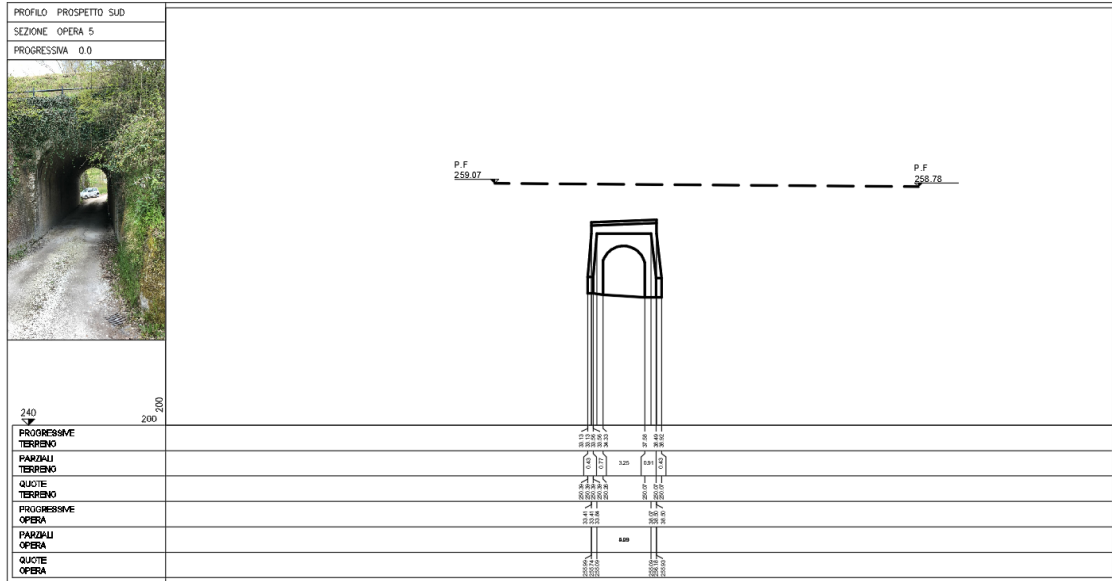


Figure 16 Schema planimetrico dell'asse IN04 e delle sezioni trasversali in condizioni Ante Operam



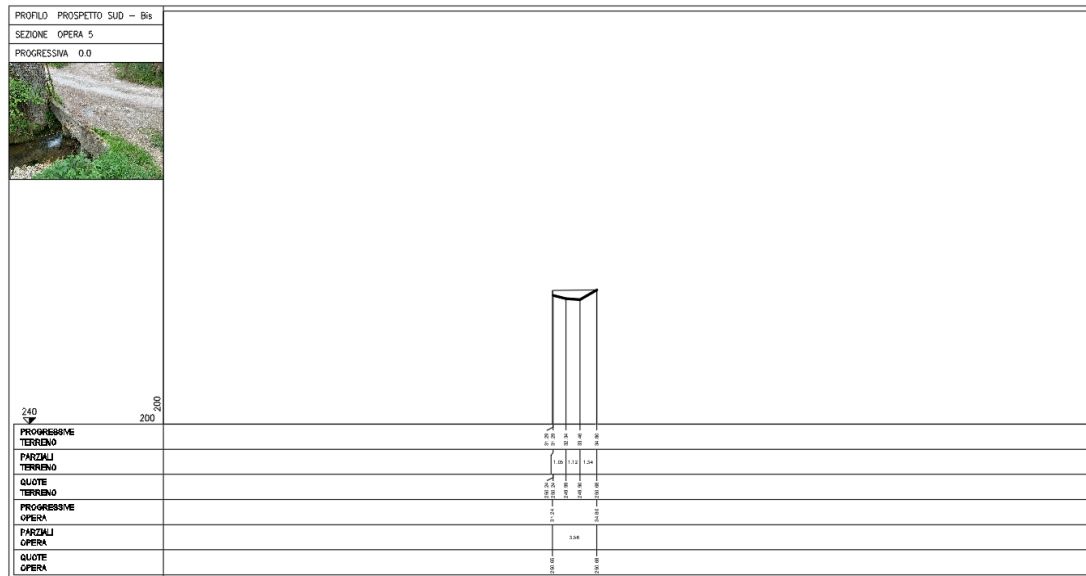


Figure 17 Sezioni di monte e valle dell'attraversamento idraulico esistente

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Y (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN04 AO	113	30.9	262.08	263.14	1.06	263.51	0.010841	2.7	0.98
IN04 AO	112	30.9	260.96	262.5	1.54	262.99	0.009055	3.14	0.93
IN04 AO	111	30.9	258.82	259.9	1.08	260.85	0.03093	4.31	1.62
IN04 AO	110	30.9	253.62	255.94	2.32	257.5	0.074196	6.32	1.67
IN04 AO	109	30.9	252.77	254.1	1.33	255.59	0.039407	5.41	1.77
IN04 AO	108	30.9	252.32	254.3	1.98	254.75	0.007318	2.96	0.77
IN04 AO	107	30.9	251	253.32	2.32	253.43	0.002998	1.89	0.45
IN04 AO	106.2	30.9	249.8	253.36	3.56	253.39	0.000306	0.85	0.18
IN04 AO	104	30.9	248.9	251.05	2.15	251.4	0.00757	2.99	0.68
IN04 AO	103	30.9	247.67	249.88	2.21	250.13	0.007059	2.54	0.77
IN04 AO	102	30.9	246.21	249.9	3.69	249.92	0.000279	0.82	0.17

Figure 18 Risultati simulazione HEC-RAS IN04 ante operam

La configurazione idraulica attuale di risoluzione dell'interferenza con la ferrovia non risulta adeguata per la portata di progetto considerata. Il manufatto che sostituisce il tombino idraulico ora funzionante come sottopasso non è infatti in grado di smaltire il flusso proveniente dal corpo idrico intercettato. L'opera risulta quindi allagata per i tempi di ritorno di progetto.

6.2.2 Configurazione temporanea

Per la determinazione del tempo di ritorno dell'evento di riferimento da considerare nel dimensionamento delle opere provvisionali, in mancanza di una specifica analisi di rischio, viene assunta una probabilità di accadimento, nel periodo di interferenza, usualmente compresa tra il 5% ed il 10% (Da Deppo et al., 2004).

Come è noto, la probabilità di accadimento $R_{n,Tr}$ del verificarsi in un numero n di anni dell'evento $X(T_r)$ caratterizzato da frequenza di superamento $P[X(T_r)] = 1/Tr$ è, per la probabilità di eventi statisticamente indipendenti, ottenibile dalla relazione:

$$R_{n,Tr} = 1 - P[X(T_r)]^n = 1 - (1 - 1/Tr)^n$$

Fissato il valore $R_{n,Tr} = 0.05 \div 0.10$ e il numero di anni (n) di permanenza delle opere in alveo, è possibile quindi definire il tempo di ritorno dell'evento a base del progetto delle opere provvisionali.

Nel caso specifico delle opere provvisorie necessarie per garantire la continuità idraulica del corso d'acqua denominato "IN04" durante la realizzazione del manufatto di progetto, assumendo una durata delle lavorazioni di circa 12 mesi (1 anno) ed imponendo $R_{n,Tr} = 0.10$, il tempo di ritorno della piena di riferimento da considerare per il dimensionamento delle opere provvisionali ammonta a circa 10 anni.

Considerando quindi l'analisi pluviometrica riportata nella relazione idrologica IR0E00R09RIID0001001 con il metodo VAPI, l'altezza di pioggia che si ottiene per un tempo di ritorno di 10 anni e durata di precipitazione di 15 minuti è pari a 28.8 mm. La portata corrispondente a tale precipitazione, calcolata secondo la procedura riportata nella stessa relazione idrologica, è quindi pari a 5.66 m³/s.

La deviazione temporanea del canale per permettere la demolizione del tombino esistente e la realizzazione del manufatto di progetto, sarà quindi costituita da una condotta in calcestruzzo DN 1500 realizzata mediante spingitubo a est dell'attraversamento esistente. Garantendo una pendenza del 2% fino al raccordo all'alveo di valle, tale presenta un grado di riempimento del 63 %.

6.2.3 Condizioni post operam

Per l'analisi delle condizioni post operam è stata considerata la configurazione definitiva, ottenuta mediante una deviazione a sezione trapezia in massi cementati a monte del corso d'acqua per permettere, mediante anche una serie di gradoni, l'imbocco del nuovo tombino idraulico, allungato verso Nord rispetto a quello attuale a causa dell'allargamento del rilevato ferroviario. Inoltre, il manufatto di progetto assolverà solamente alla funzione idraulica, in quanto l'accesso all'abitato a Sud della ferrovia verrà garantito mediante la viabilità di progetto NV01.

A valle dell'attraversamento il raccordo all'alveo esistente avverrà mediante un canale trapezio in massi cementati, analogo a quello della deviazione a monte.

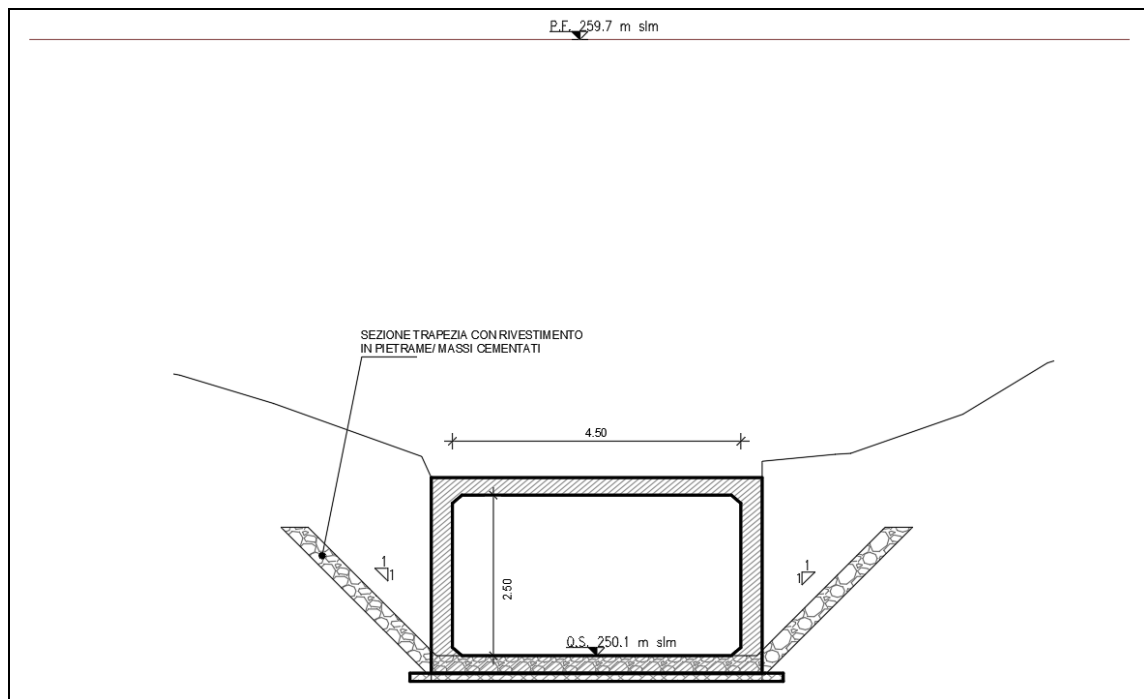


Figure 19 Sezione sistemazione idraulica IN04

Le sezioni di studio sono state quindi costruite in corrispondenza dei punti significativi della sistemazione di progetto.

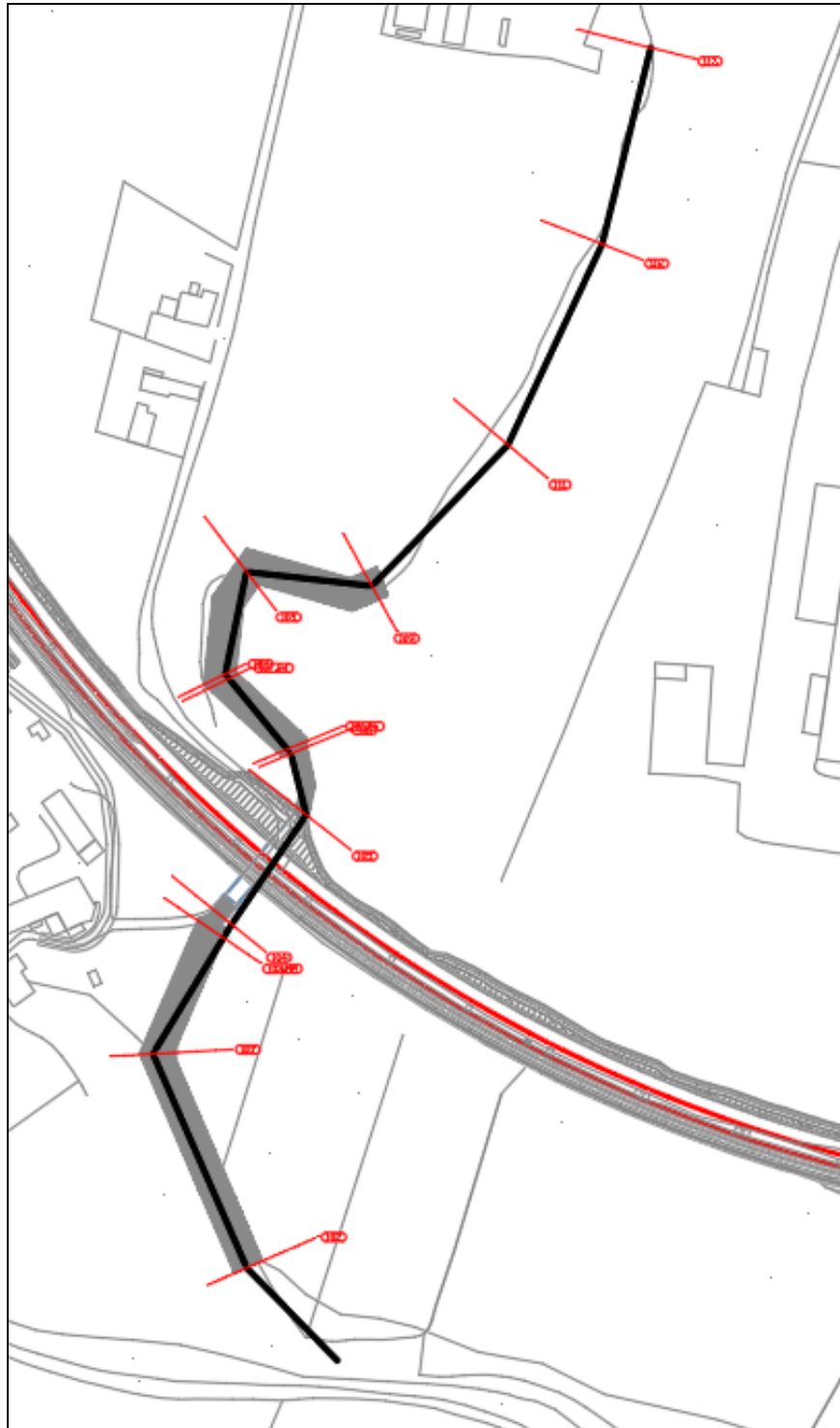


Figure 20 Schema planimetrico dell'asse IN04 in condizioni Post Operam

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Y (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN04 PO	113	30.9	262.08	262.89	0.81	263.65	0.030046	3.88	1.57
IN04 PO	112	30.9	260.96	262.5	1.54	262.99	0.009101	3.14	0.93
IN04 PO	111	30.9	258.82	259.89	1.07	260.87	0.032186	4.37	1.65
IN04 PO	109	30.9	254.88	255.75	0.87	257.06	0.066715	5.06	2.35
IN04 PO	108	30.9	253.81	255.16	1.35	255.85	0.014242	3.69	1.16
IN04 PO	107	30.9	252.8	253.91	1.11	254.96	0.023536	4.54	1.49
IN04 PO	106.94	30.9	252.1	252.98	0.88	254.81	0.053212	6	2.19
IN04 PO	106.06	30.9	251.4	252.49	1.09	253.6	0.025721	4.68	1.56
IN04 PO	106	30.9	250.97	251.88	0.91	253.51	0.020601	5.65	1.89
IN04 PO	105	30.9	250.5	251.81	1.31	253.21	0.007898	5.23	1.46
IN04 PO	104	30.9	250.1	251.38	1.28	252.84	0.008462	5.36	1.51
IN04 PO	103.88	30.9	249.8	250.65	0.85	252.62	0.059313	6.22	2.31
IN04 PO	103	30.9	247.67	248.56	0.89	250.34	0.051058	5.91	2.15
IN04 PO	102	30.9	246.21	247.37	1.16	248.33	0.020701	4.34	1.4

Figure 21 Risultati simulazione HEC-RAS IN04 Post Operam

Il deflusso nelle condizioni di progetto avviene in corrente veloce per tutto il tratto di studio, attraversando lo scatolare di progetto con un tirante di **1.32 m** (grado di riempimento 53 %).

6.3 Tombino IN08

In corrispondenza della pk. 2+712 è stato studiato l'attraversamento del corso d'acqua interferente sia con la viabilità che con la linea storica esistenti (condizioni *ante operam*) e con la viabilità NV02 e il tracciato di progetto (*post operam*). Il tratto oggetto di modellazione inizia circa 230 m a monte del manufatto stradale esistente, includendo l'attraversamento della SS76, e si estende a valle fino alla confluenza con il Torrente Giano.

6.3.1 Condizioni ante operam

Per l'analisi delle condizioni *ante operam* le sezioni di studio sono quelle batimetriche restituite dal rilievo, così come le dimensioni dei manufatti esistenti.



Figure 22 Schema planimetrico dell'asse IN08 in condizioni Ante Operam

Nella configurazione attuale il tratto di studio presenta un primo tombino idraulico per l'attraversamento della viabilità esistente a monte, del quale è riportata la sezione restituita dal rilievo.

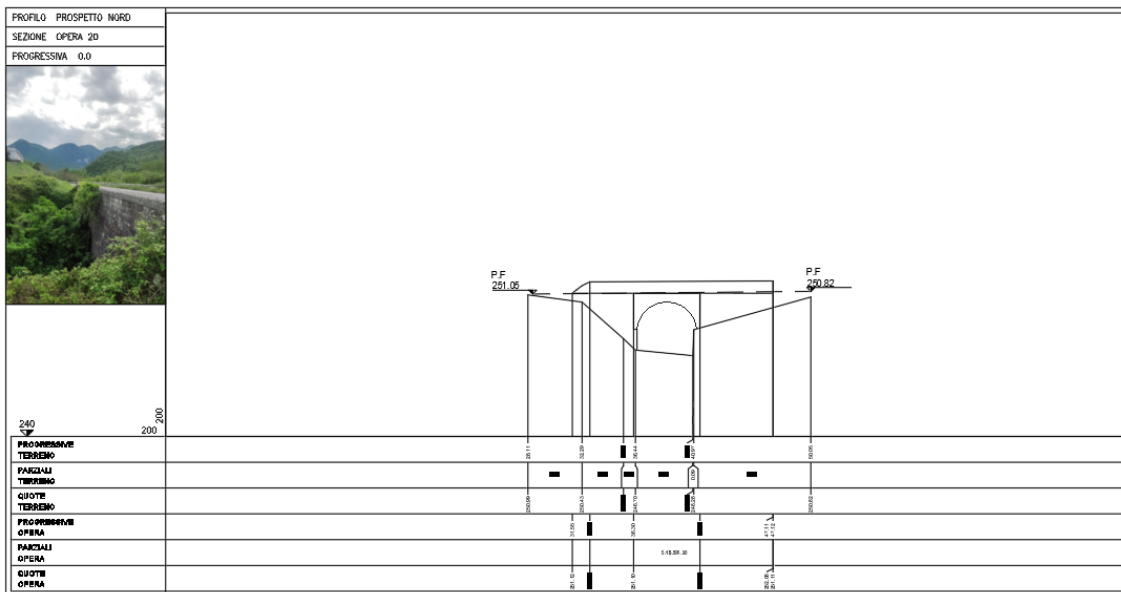
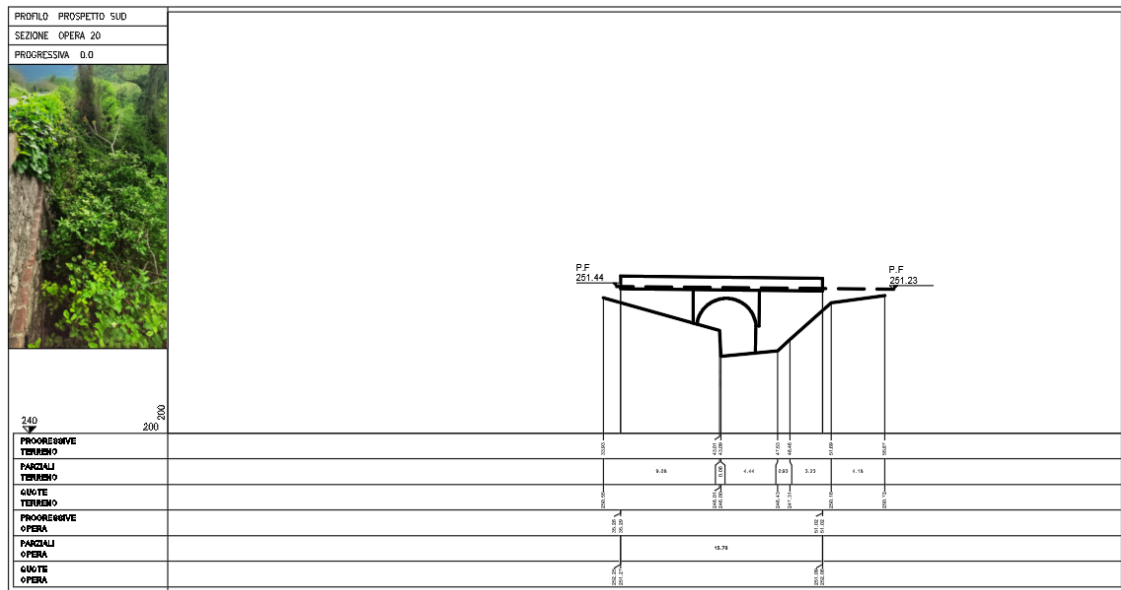


Figure 23 Sezioni di monte e valle dell'attraversamento stradale esistente

Successivamente, l'interferenza con la linea esistente viene superata mediante un secondo tombino del quale è riportata la sezione restituita dal rilievo.

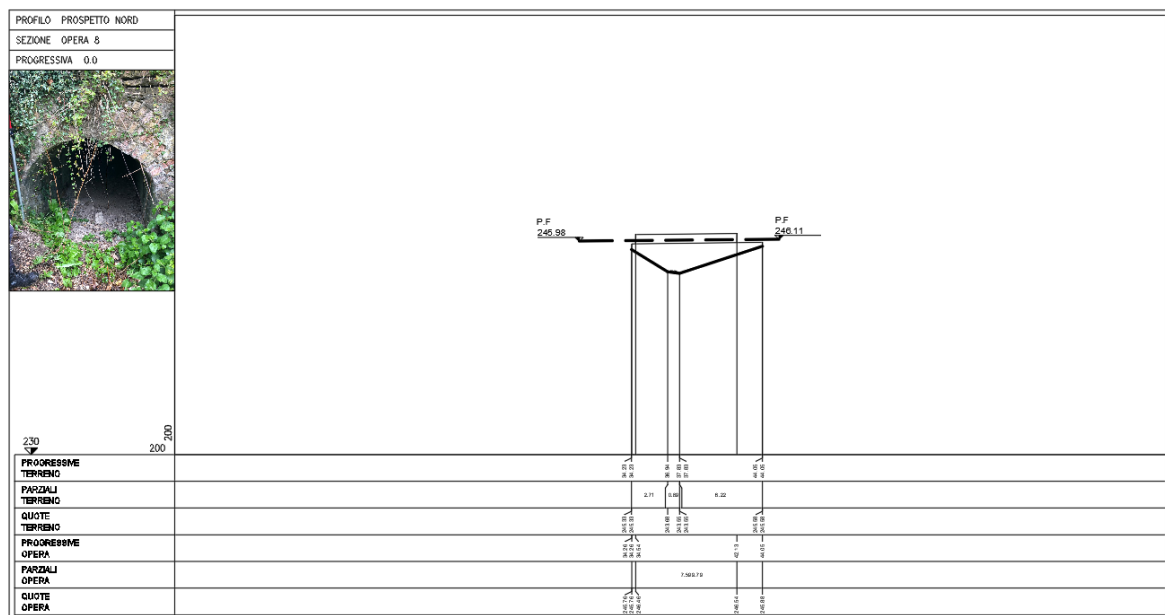
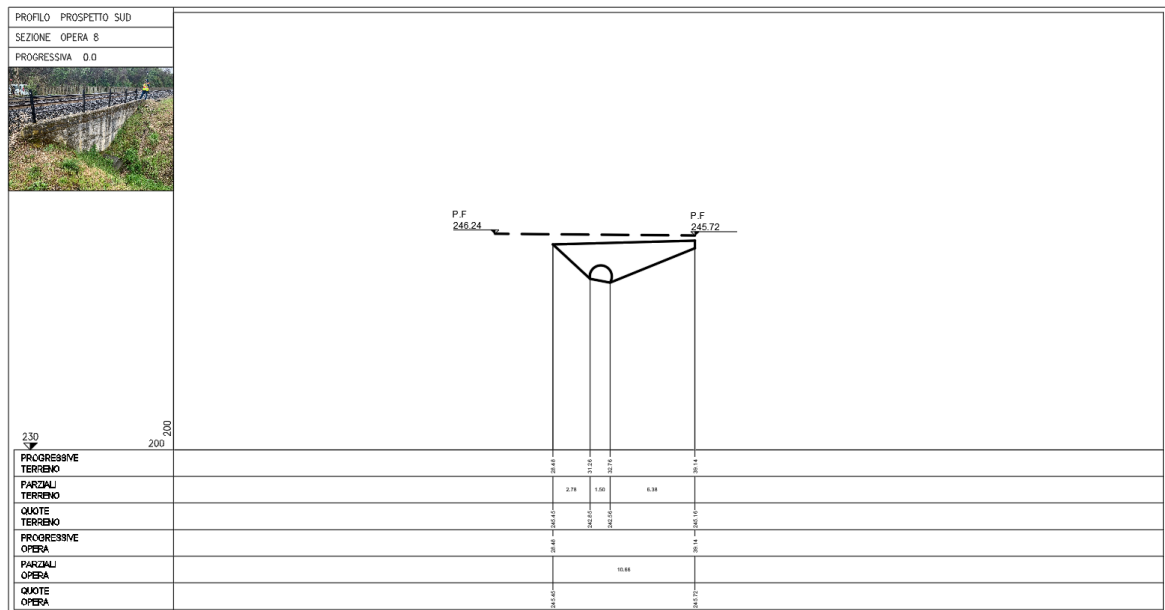


Figure 24 Sezioni di monte e valle dell'attraversamento ferroviario esistente

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Y (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN08 AO	108	10.93	262.28	263.21	0.93	264.79	0.100083	5.56	2.61
IN08 AO	107	10.93	252.8	254.25	1.45	254.33	0.000649	1.26	0.33
IN08 AO	106.92	10.93	252.3	254.27	1.97	254.31	0.000268	0.92	0.21
IN08 AO	106	10.93	250.47	251.26	0.79	251.61	0.018409	2.6	1.18
IN08 AO	105	10.93	246.59	247.2	0.61	248.05	0.047697	4.1	1.8
IN08 AO	104.93	10.93	246.26	247.02	0.76	248	0.059113	4.38	1.94
IN08 AO	104.2	10.93	246.16	246.76	0.6	247.48	0.037332	3.75	1.57
IN08 AO	104	10.93	245.6	246.14	0.54	247.26	0.067599	4.69	2.06
IN08 AO	103	10.93	241.45	244.97	3.52	244.99	0.000086	0.62	0.14
IN08 AO	102.82	10.93	241.1	244.97	3.87	244.98	0.000056	0.53	0.11
IN08 AO	102.14	10.93	241	241.67	0.67	244.59	0.071439	7.57	3.39
IN08 AO	102	10.93	239.95	240.55	0.6	244.33	0.102023	8.61	4.01
IN08 AO	101	10.93	238.58	239.94	1.36	241.06	0.068609	4.69	2.02

Figure 25 Risultati simulazione HEC-RAS IN08 ante operam

Il deflusso nelle condizioni attuali avviene prevalentemente in corrente veloce e, come evidenziato nel profilo allegato, dopo aver superato il manufatto relativo alla SS76, l'attraversamento della viabilità risulta adeguato, mentre quello ferroviario è insufficiente per la portata relativa a Tr 200 anni.

6.3.2 Condizioni post operam

Per l'analisi delle condizioni *post operam* è stata considerata la leggera deviazione del canale esistente a valle dell'attraversamento stradale, allungato e adeguato alla viabilità di progetto, che intercetta il rilevato ferroviario circa 20 m più a ovest rispetto al manufatto esistente. Il tratto tra i due scatolari presenterà una serie di gradoni per superare il dislivello altimetrico.

Il raccordo all'alveo esistente, prima della confluenza con il Torrente Giano avverrà mediante un canale trapezio in massi cementati, analogo a quello del tratto fluviale a monte.

Sistemazione IN08
scala 1:50

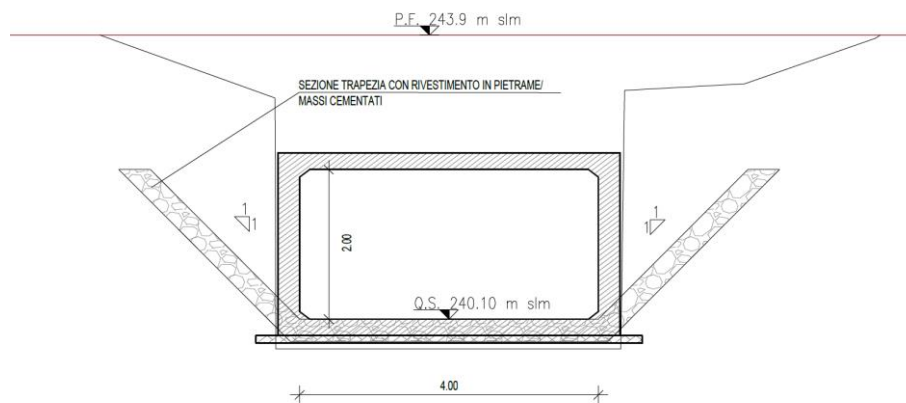


Figure 26 Sezioni sistemazioni idrauliche IN08

Le sezioni di studio sono state quindi costruite in corrispondenza dei punti significativi della sistemazione: monte e valle di ogni manufatto e dei gradoni. Inoltre, come precedentemente precisato, nei manufatti in progetto, stradale (NI02) e ferroviario (IN08), sono recapitate anche le acque del limitrofo bacino con ID = 10, a seguito della dismissione (senza adeguamento) dell'opera esistente alla progr. 2+892.6, ovvero KM 231+609 della linea storica, per incompatibilità geometrica (rispetto alla quota di scorrimento minima) con il profilo altimetrico della linea ferroviaria in progetto.

Nel modello numerico *Hec Ras* è stato quindi considerato/implementato un ramo aggiuntivo rappresentante la canaletta in testa alla paratia di pali di sostegno della NV02.

Per maggiori dettagli, si rimanda anche agli elaborati grafici IR0E00R09WZID0002004, IR0E00R09FZID0002004.

Di seguito, si riportano quindi i risultati relativi ai tre rami (*reaches*) implementati.

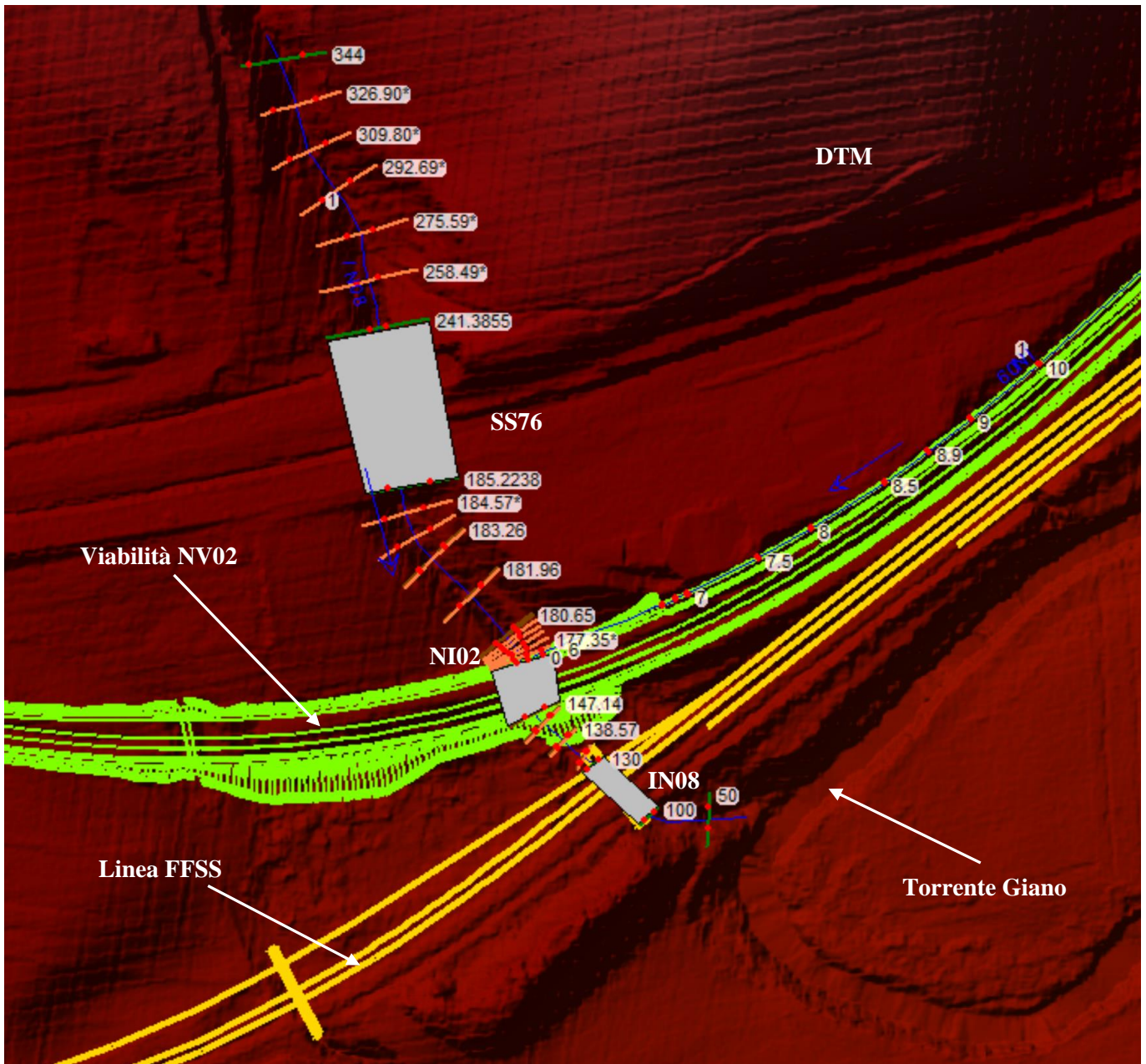


Figure 27 Schema planimetrico del corso d'acqua afferente alle opere NI02 e IN08: implementazione nel modello numerico Hec Ras.

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude # Chl
344	10.93	262.28	263.64	263.64	263.98	0.013010	2.59	1.00
241.3855	10.93	252.31	254.18	253.03	254.23	0.000845	0.99	0.23
200	Culvert							
185.2238	10.93	250.23	251.27	251.27	251.55	0.013128	2.34	1.01
183.26	10.93	248.75	249.45	249.72	250.33	0.053442	4.17	1.97
181.96	10.93	247.76	248.47	248.67	249.14	0.033796	3.62	1.59
180.65	10.93	246.77	247.44	247.62	248.06	0.030001	3.51	1.49
180.62	10.93	246.46	247.00	247.31	248.01	0.036570	4.44	2.05
175.71	11.26	246.00	246.64	246.93	247.62	0.031601	4.39	1.75
151	Culvert							
147.14	11.26	245.00	245.45	245.87	247.05	0.070940	5.60	2.79
144.28	11.26	244.18	244.60	245.05	246.53	0.170653	6.15	3.14
138.57	11.26	242.55	243.07	243.45	244.42	0.090034	5.14	2.35
132.86	11.26	240.92	241.47	241.84	242.75	0.077371	5.02	2.19
130	11.26	240.10	240.65	241.03	241.99	0.082180	5.12	2.20
120	Culvert							
100	11.26	240.00	240.78	240.93	241.45	0.028738	3.61	1.30
50	11.26	238.20	238.85	239.26	240.37	0.090014	5.47	2.51

Figure 28 Risultati simulazione HEC-RAS: tratto fluviale principale afferente alle opere NI02 e IN08 (portate = 10.93 mc/s e 11.26 mc/s).

River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude # Chl
10	0.33	254.90	255.25	255.25	255.43	0.008597	1.85	1.01
9	0.33	254.05	254.24	254.40	254.87	0.047979	3.53	2.63
8.9	0.33	253.70	253.97	254.05	254.27	0.016777	2.40	1.47
8.5	0.33	253.50	253.83	253.85	254.03	0.010488	2.00	1.12
8	0.33	253.23	253.55	253.58	253.76	0.010892	2.03	1.14
7.5	0.33	253.00	253.33	253.35	253.53	0.010675	2.01	1.12
7	0.33	252.60	252.88	252.95	253.16	0.016300	2.37	1.45
6.9979	0.33	252.00	252.15	252.35	253.09	0.082977	4.29	3.51
6.9079	0.33	251.90	252.08	252.25	252.74	0.049692	3.57	2.66
6.9058	0.33	251.40	251.54	251.75	252.68	0.109282	4.73	4.05
6.7990	0.33	251.30	251.48	251.65	252.17	0.053642	3.67	2.77
6.7969	0.33	251.00	251.15	251.35	252.13	0.087918	4.38	3.61
6	0.33	250.50	250.72	250.79	250.94	0.011686	2.09	1.63
0	0.33	250.00	250.15	250.29	250.77	0.049443	3.50	3.24

Figure 29 Risultati simulazione HEC-RAS: canaletta sommità paratia pali della NV02 (portata = 0.33 mc/s).

Il deflusso nelle condizioni di progetto avviene in corrente veloce per tutto il tratto di sistemazione, attraversando il tombino stradale con un tirante di **0.74** m (grado di riempimento 36%). Il secondo tombino, quello ferroviario, è attraversato invece con un tirante pari a **0.77** m (grado di riempimento 40%).

6.4 Riepilogo dei risultati

Nelle tabelle seguenti, si riporta il riepilogo dei risultati ottenuti nelle simulazioni numeriche tramite il codice di calcolo Hec Ras, relativamente ai tombini sia ferroviari che stradali.

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m ³ /s)	Sezione		If (m/m)	Rh (m)	Tirante y	GR %
			B	H				
IN01	0+0785	3.80	3.0	1.5	0.0070	0.404	0.554	39.0%
IN04	1+211.4	30.87	4.5	2.5	0.0100	0.893	1.480	53.0%
IN08	2+716.1	11.26	4.0	2.0	0.0030	0.556	0.77	40.0%

Tab. 5 – Verifica idraulica dei tombini ferroviari (Hec Ras)

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m ³ /s)	Sezione		If (m/m)	Rh (m)	Tirante y	GR %
			B	H				
NI02	0+240.5 (NV02)	11.26	4.0	2.0	0.010	0.529	0.740	36.0%
NI06	1+450 (NVP01)	3.80	3.0	1.5	0.007	0.404	0.554	38.0%

Tab. 6 – Verifica idraulica dei tombini stradali (Hec Ras)

Analogamente alle precedenti verifiche, tutti i manufatti risultano ampiamente verificati, con gradi di riempimento inferiori o uguali al 70%, ovvero al 50%.

ALLEGATO A: RISULTATI MODELLAZIONE HY-8

Crossing Discharge Data: IN03

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 110.182 cfs

Maximum Flow: 141.259 cfs

Table 1 - Summary of Culvert Flows at Crossing: IN03

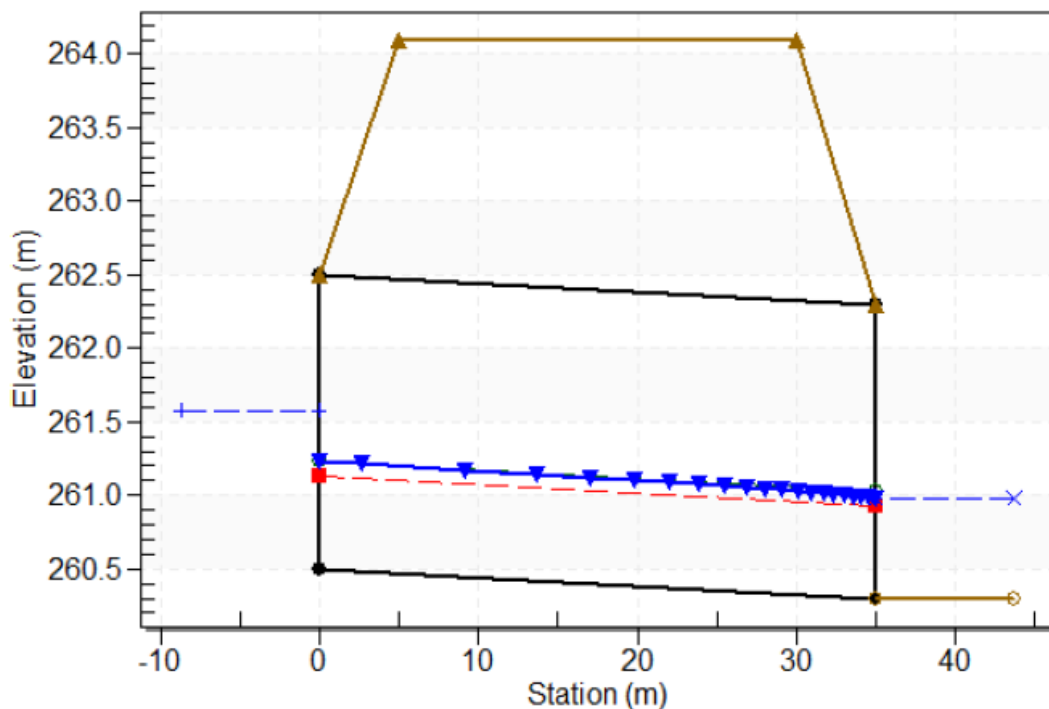
Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	pk 0+729 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
260.50	0.00	0.00	0.00	1
260.77	0.40	0.40	0.00	1
260.94	0.80	0.80	0.00	1
261.07	1.20	1.20	0.00	1
261.19	1.60	1.60	0.00	1
261.30	2.00	2.00	0.00	1
261.41	2.40	2.40	0.00	1
261.50	2.80	2.80	0.00	1
261.58	3.12	3.12	0.00	1
261.69	3.60	3.60	0.00	1
261.77	4.00	4.00	0.00	1
264.10	15.74	15.74	0.00	Overtopping

Table 2 - Culvert Summary Table: IN03 pk 0+729

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	260.50	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.40	0.40	260.77	0.273	0.274	3-M1t	0.182	0.160	0.204	0.204	0.982	0.891
0.80	0.80	260.94	0.433	0.436	3-M1t	0.287	0.254	0.308	0.308	1.300	1.126
1.20	1.20	261.07	0.567	0.571	3-M1t	0.376	0.332	0.391	0.391	1.534	1.283
1.60	1.60	261.19	0.687	0.691	3-M1t	0.457	0.403	0.463	0.463	1.729	1.404
2.00	2.00	261.30	0.797	0.802	3-M2t	0.533	0.467	0.527	0.527	1.898	1.503
2.40	2.40	261.41	0.901	0.906	3-M2t	0.606	0.527	0.585	0.585	2.051	1.587
2.80	2.80	261.50	0.998	1.004	3-M2t	0.677	0.585	0.639	0.639	2.191	1.660
3.12	3.12	261.58	1.070	1.079	3-M2t	0.731	0.628	0.680	0.680	2.295	1.713
3.60	3.60	261.69	1.174	1.187	3-M2t	0.812	0.691	0.737	0.737	2.443	1.785
4.00	4.00	261.77	1.257	1.274	3-M2t	0.877	0.741	0.782	0.782	2.558	1.839

Water Surface Profile Plot for Culvert: IN03 pk 0+729

Crossing - IN03, Design Discharge - 3.12 cms
Culvert - pk 0+729, Culvert Discharge - 3.12 cms



Site Data – IN03 pk 0+729

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 260.50 m

Outlet Station: 35.00 m

Outlet Elevation: 260.30 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary – IN03 pk 0+729

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 2000.00 mm

Barrel Rise: 2000.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0200

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

Tailwater Channel Data - IN03

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

Side Slope (H:V): 1.00 (1:1)

Channel Slope: 0.0100

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 260.30 m

Roadway Data for Crossing: IN03

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

Crest Length: 5.00 m

Crest Elevation: 264.10 m

Roadway Surface: Paved

Roadway Top Width: 25.00 m

Crossing Discharge Data: IN07

Discharge Selection Method: Specify Minimum, Design, and Maximum Flow

Minimum Flow: 0 cfs

Design Flow: 70.6293 cfs

Maximum Flow: 105.944 cfs

Table 4 - Summary of Culvert Flows at Crossing: IN07

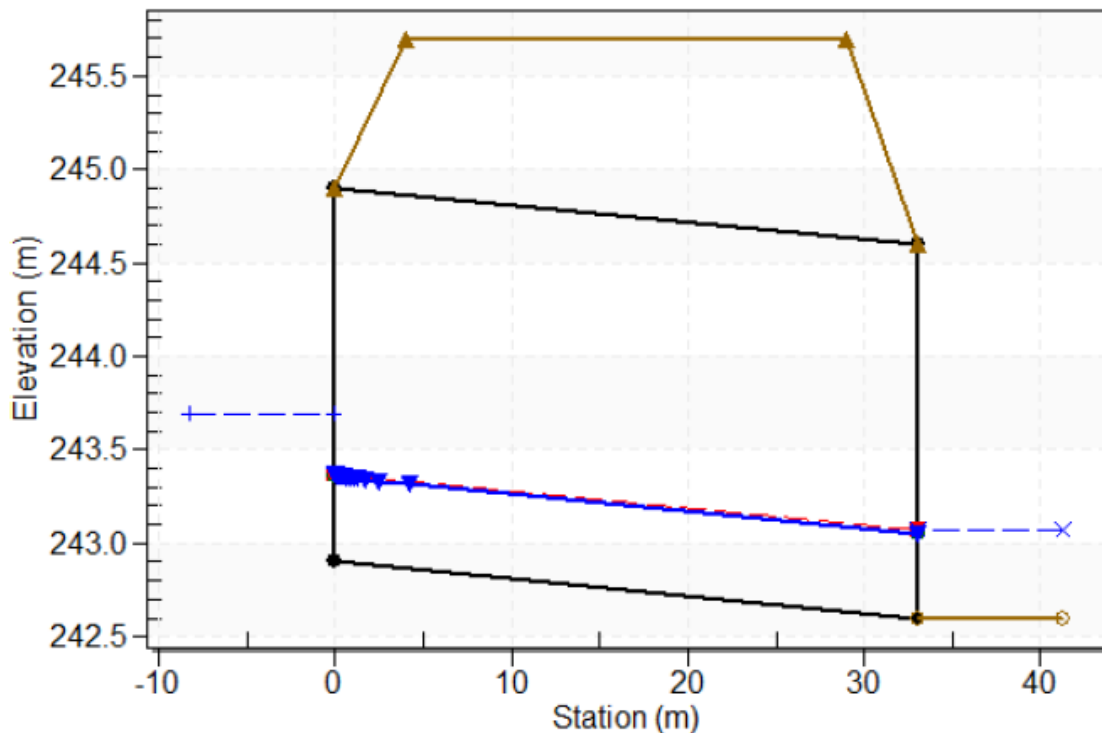
Headwater Elevation (m)	Total Discharge (cms)	pk 2+578 Discharge (cms)	Roadway Discharge (cms)	Iterations
242.90	0.00	0.00	0.00	1
243.12	0.30	0.30	0.00	1
243.26	0.60	0.60	0.00	1
243.37	0.90	0.90	0.00	1
243.47	1.20	1.20	0.00	1
243.56	1.50	1.50	0.00	1
243.64	1.80	1.80	0.00	1
243.69	2.00	2.00	0.00	1
243.80	2.40	2.40	0.00	1
243.87	2.70	2.70	0.00	1
243.94	3.00	3.00	0.00	1
245.70	12.33	12.33	0.00	Overtopping

Table 5 - Culvert Summary Table: IN07 pk 2+578

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth (m)	Outlet Control Depth (m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	242.90	0.000	0.000	0-NF	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.30	0.30	243.12	0.224	0.0*	1-S2n	0.130	0.132	0.130	0.152	1.151	0.919
0.60	0.60	243.26	0.356	0.0*	1-JS1t	0.205	0.209	0.230	0.230	1.305	1.170
0.90	0.90	243.37	0.467	0.0*	1-JS1t	0.266	0.274	0.293	0.293	1.538	1.341
1.20	1.20	243.47	0.565	0.057	1-JS1t	0.322	0.332	0.347	0.347	1.729	1.473
1.50	1.50	243.56	0.656	0.111	1-S2n	0.374	0.386	0.374	0.396	2.008	1.582
1.80	1.80	243.64	0.741	0.163	1-S2n	0.423	0.435	0.423	0.440	2.129	1.675
2.00	2.00	243.69	0.795	0.196	1-S2n	0.454	0.467	0.454	0.468	2.201	1.730
2.40	2.40	243.80	0.897	0.267	1-S2n	0.515	0.527	0.515	0.521	2.328	1.829
2.70	2.70	243.87	0.971	0.320	1-S2n	0.560	0.571	0.560	0.557	2.413	1.895
3.00	3.00	243.94	1.040	0.374	1-S2n	0.603	0.612	0.603	0.592	2.489	1.955

Water Surface Profile Plot for Culvert: IN07 pk 2+578

Crossing - IN07, Design Discharge - 2.00 cms
Culvert - pk 2+578, Culvert Discharge - 2.00 cms



Site Data - pk 2+578

Site Data Option: Culvert Invert Data

Inlet Station: 0.00 m

Inlet Elevation: 242.90 m

Outlet Station: 33.00 m

Outlet Elevation: 242.60 m

Number of Barrels: 1

Culvert Data Summary - pk 2+578

Barrel Shape: Concrete Box

Barrel Span: 2000.00 mm

Barrel Rise: 2000.00 mm

Barrel Material: Concrete

Embedment: 0.00 mm

Barrel Manning's n: 0.0200

Culvert Type: Straight

Inlet Configuration: Square Edge (90°) Headwall

Inlet Depression: None

Tailwater Channel Data - IN07

Tailwater Channel Option: Trapezoidal Channel

Bottom Width: 2.00 m

Side Slope (H:V): 1.00 (1:1)

Channel Slope: 0.0150

Channel Manning's n: 0.0350

Channel Invert Elevation: 242.60 m

Roadway Data for Crossing: IN07

Roadway Profile Shape: Constant Roadway Elevation

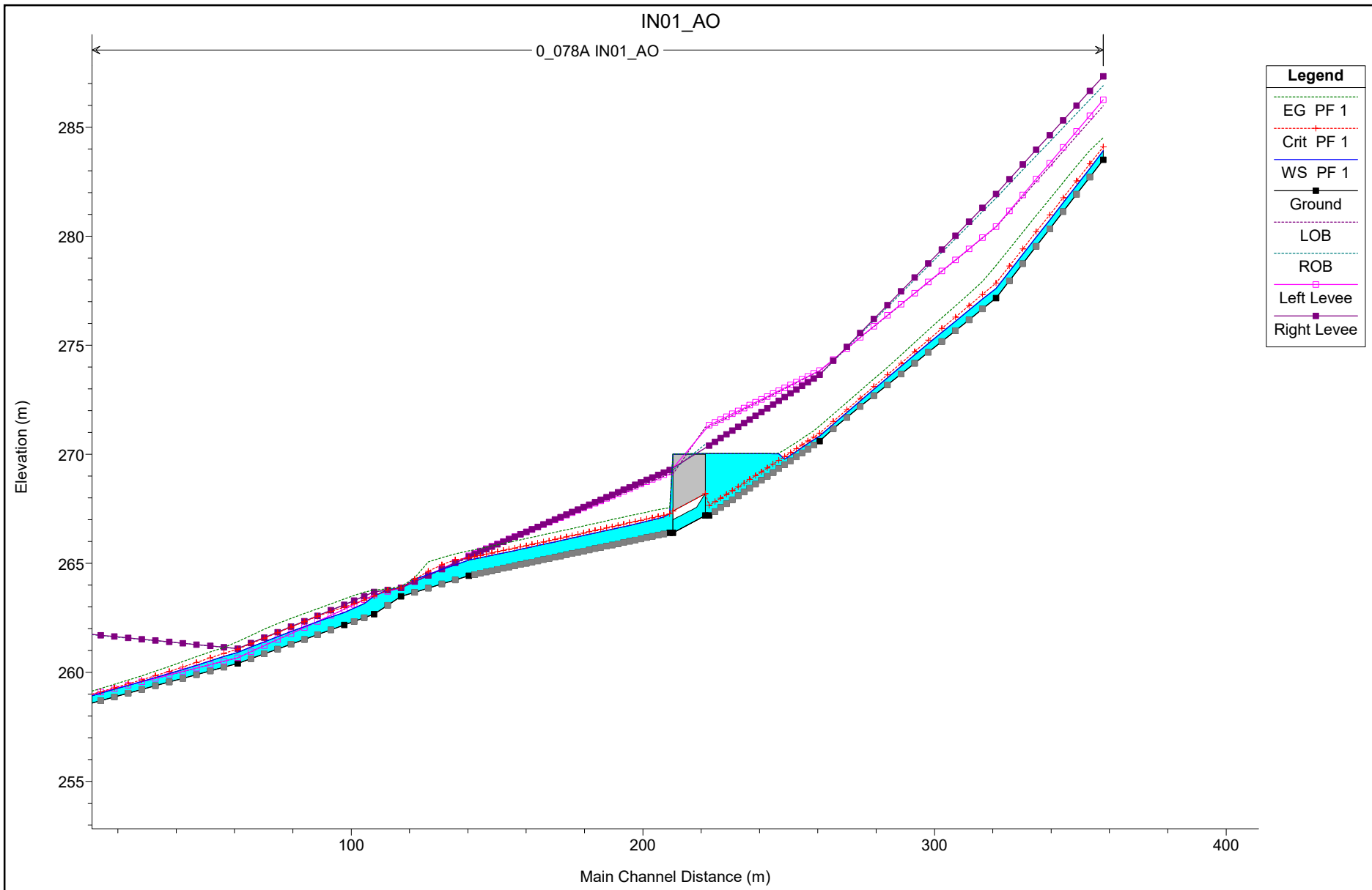
Crest Length: 5.00 m

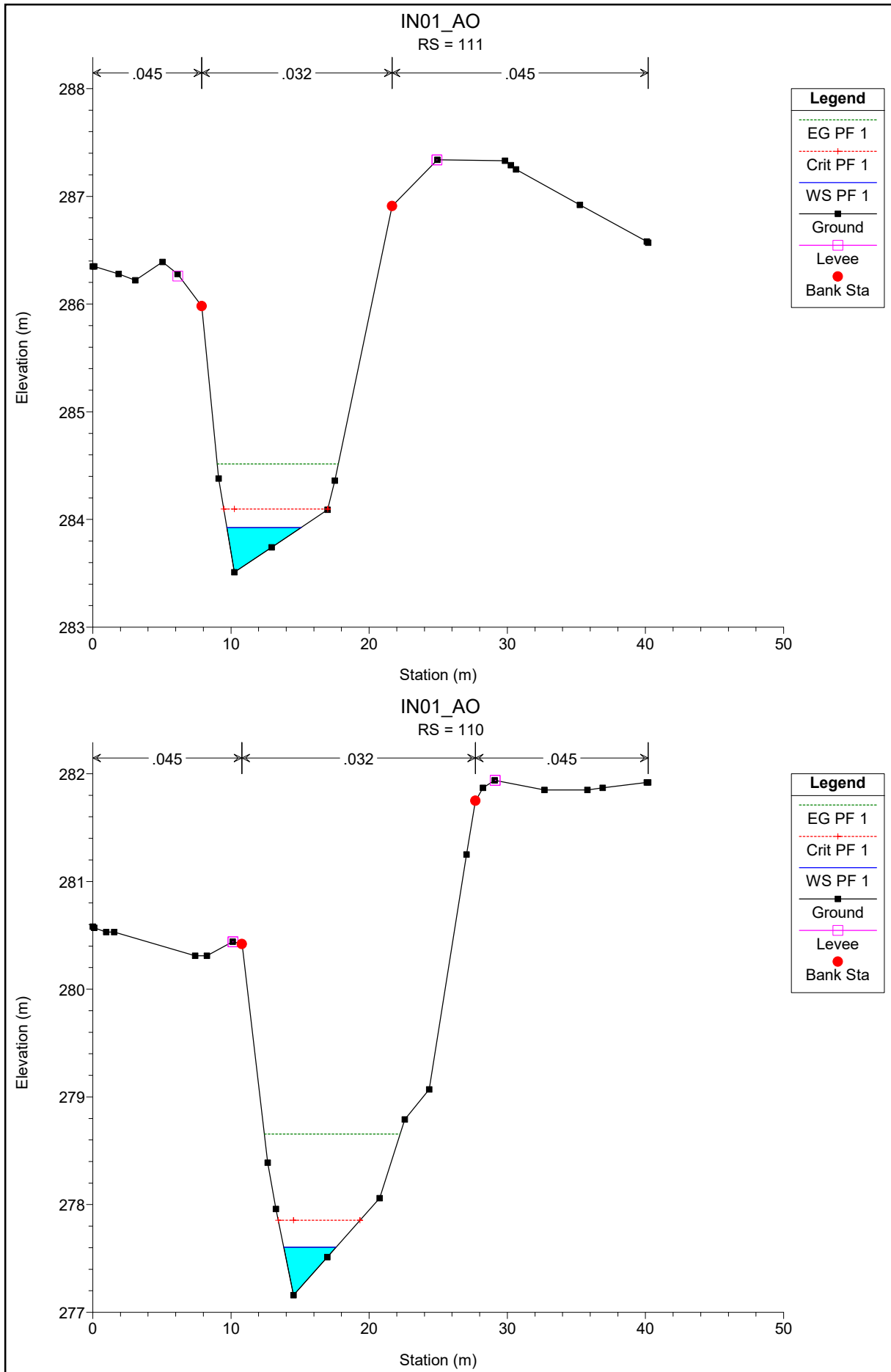
Crest Elevation: 245.70 m

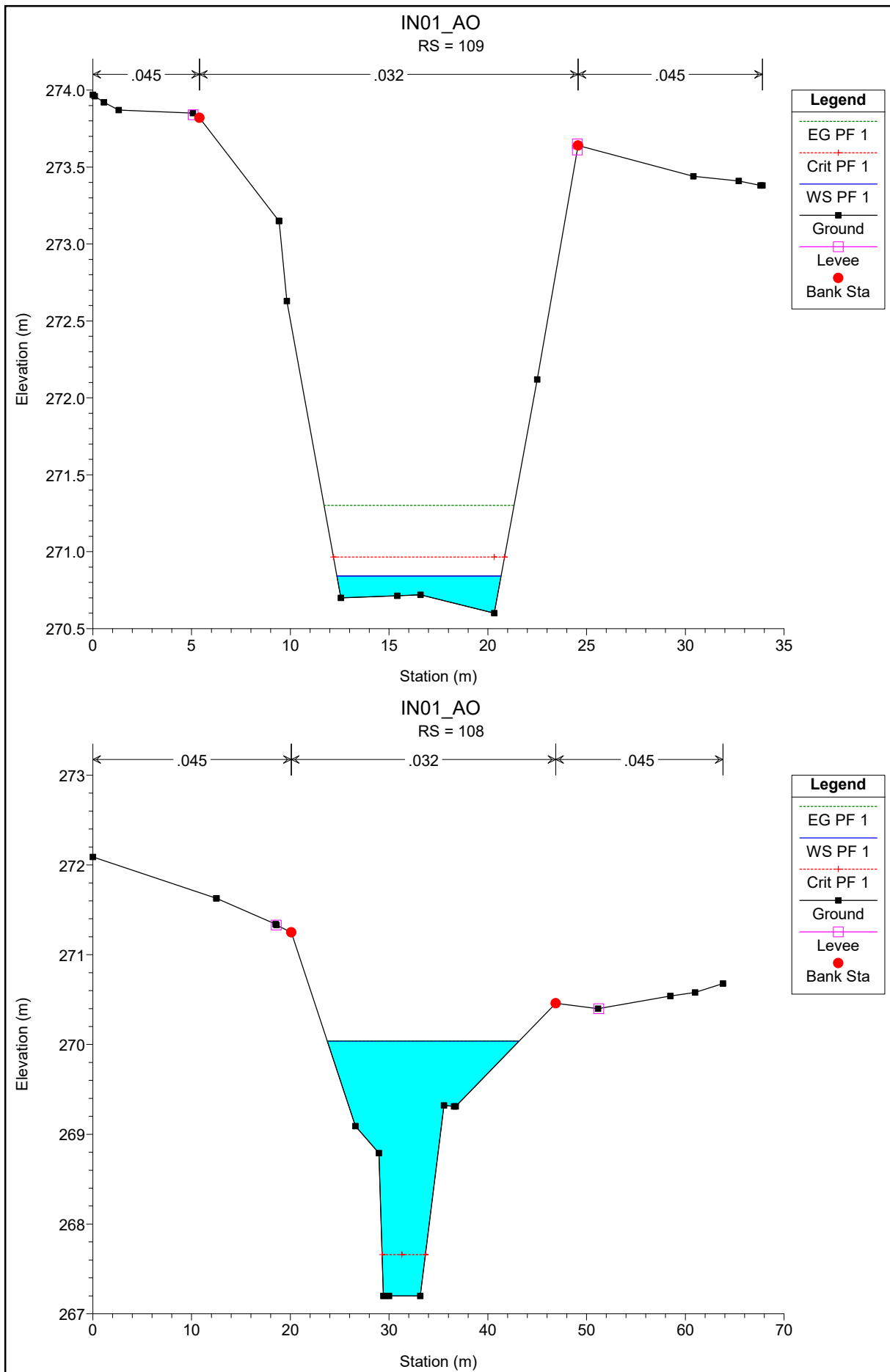
Roadway Surface: Paved

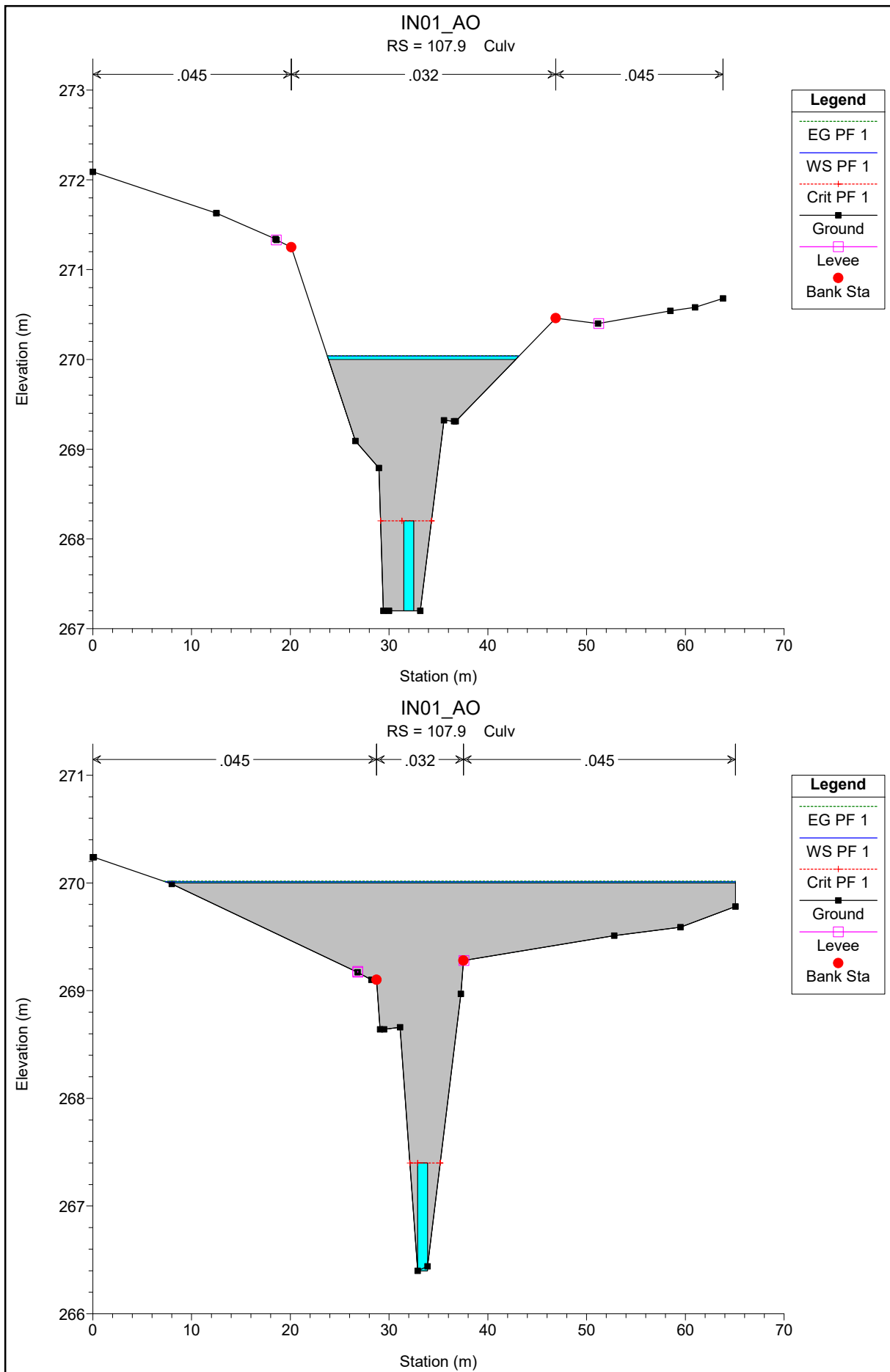
Roadway Top Width: 25.00 m

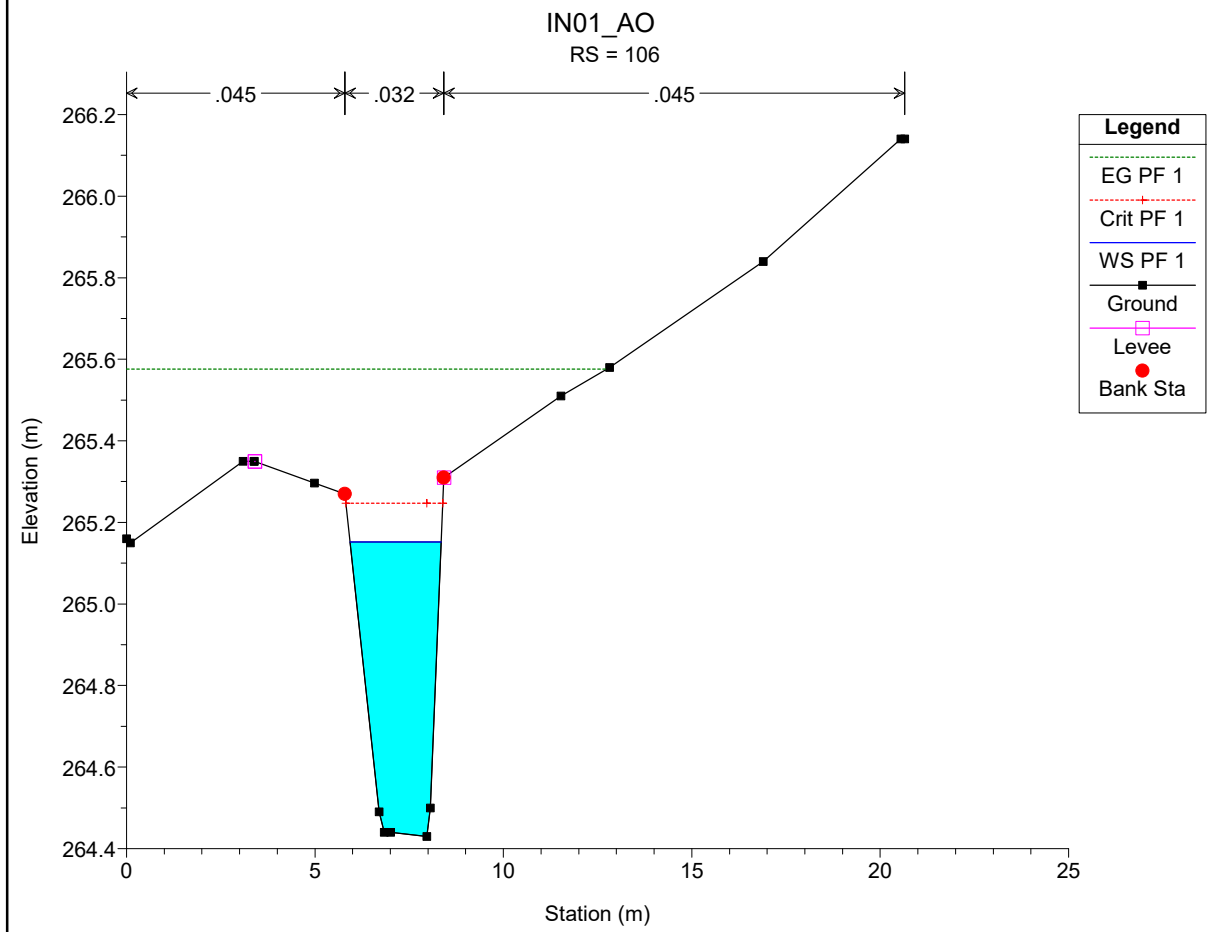
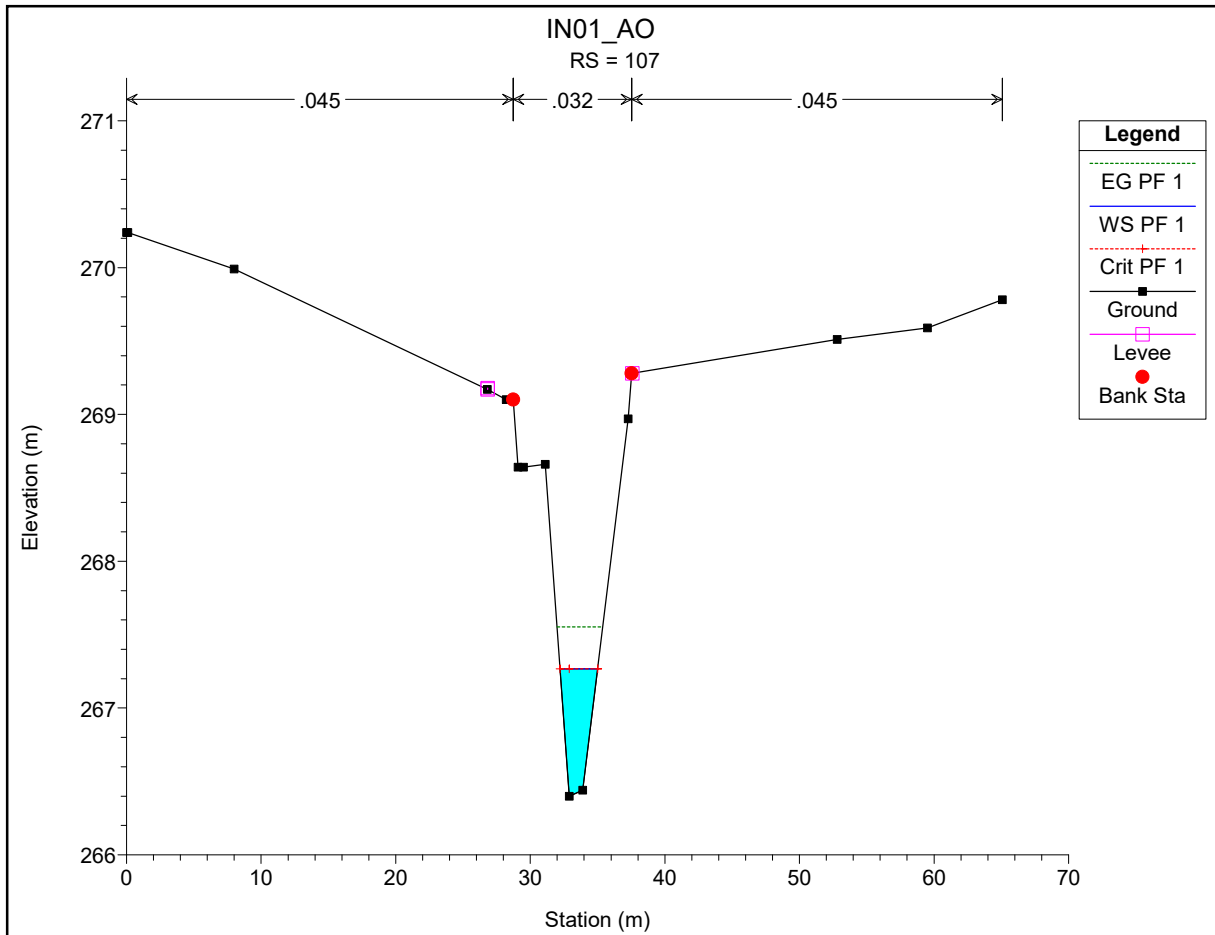
ALLEGATO B: RISULTATI MODELLAZIONE HEC RAS

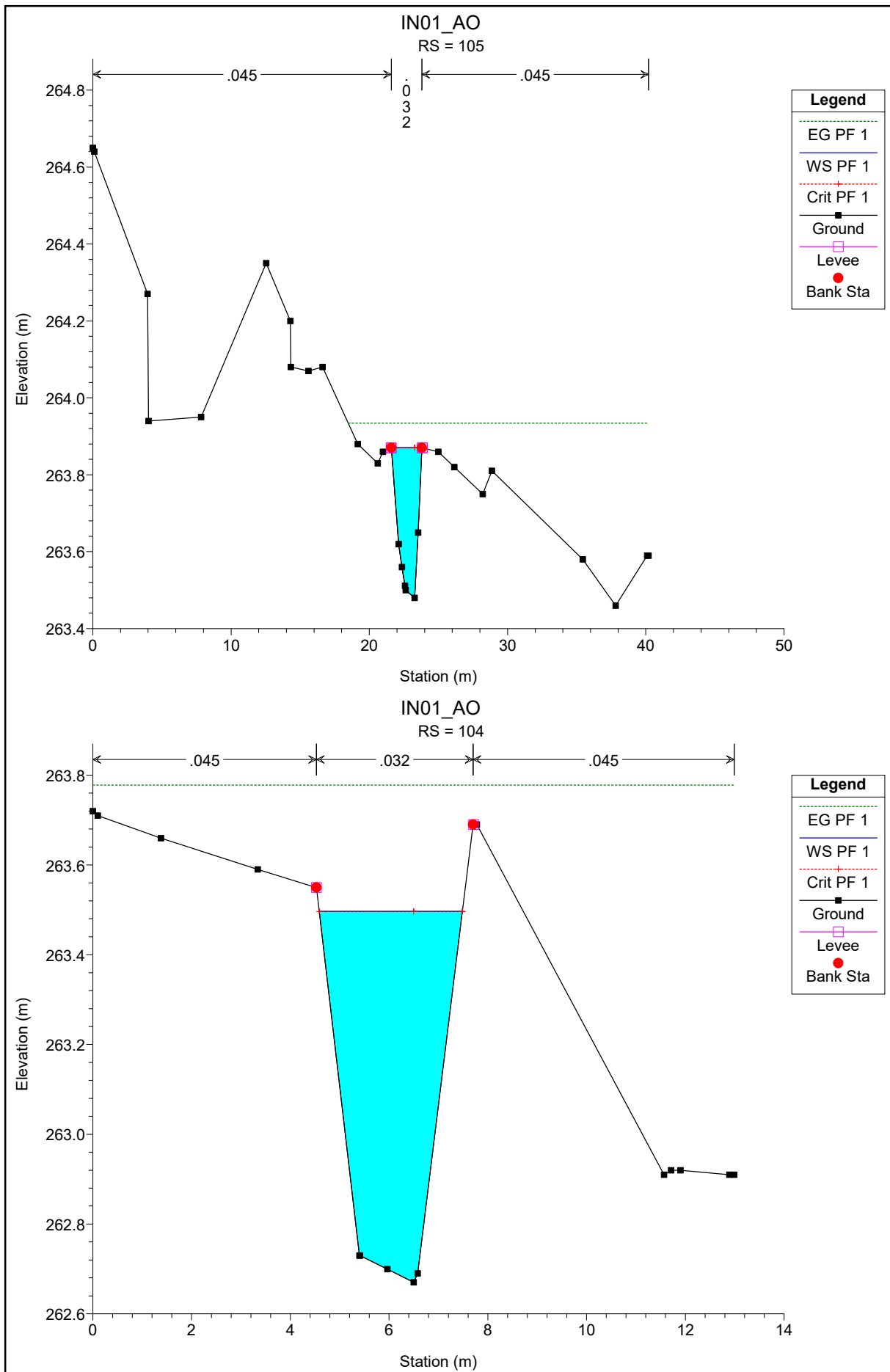


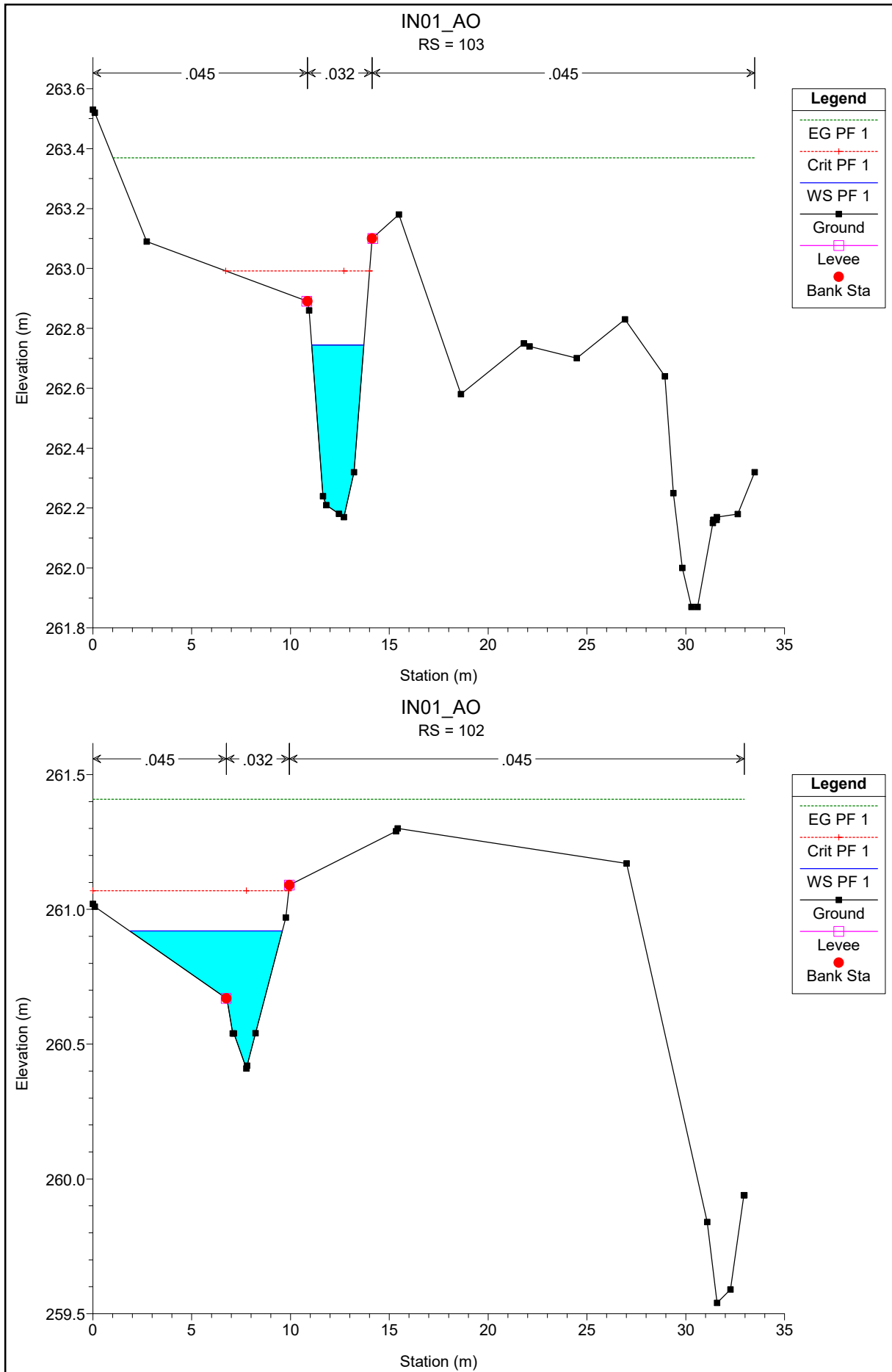


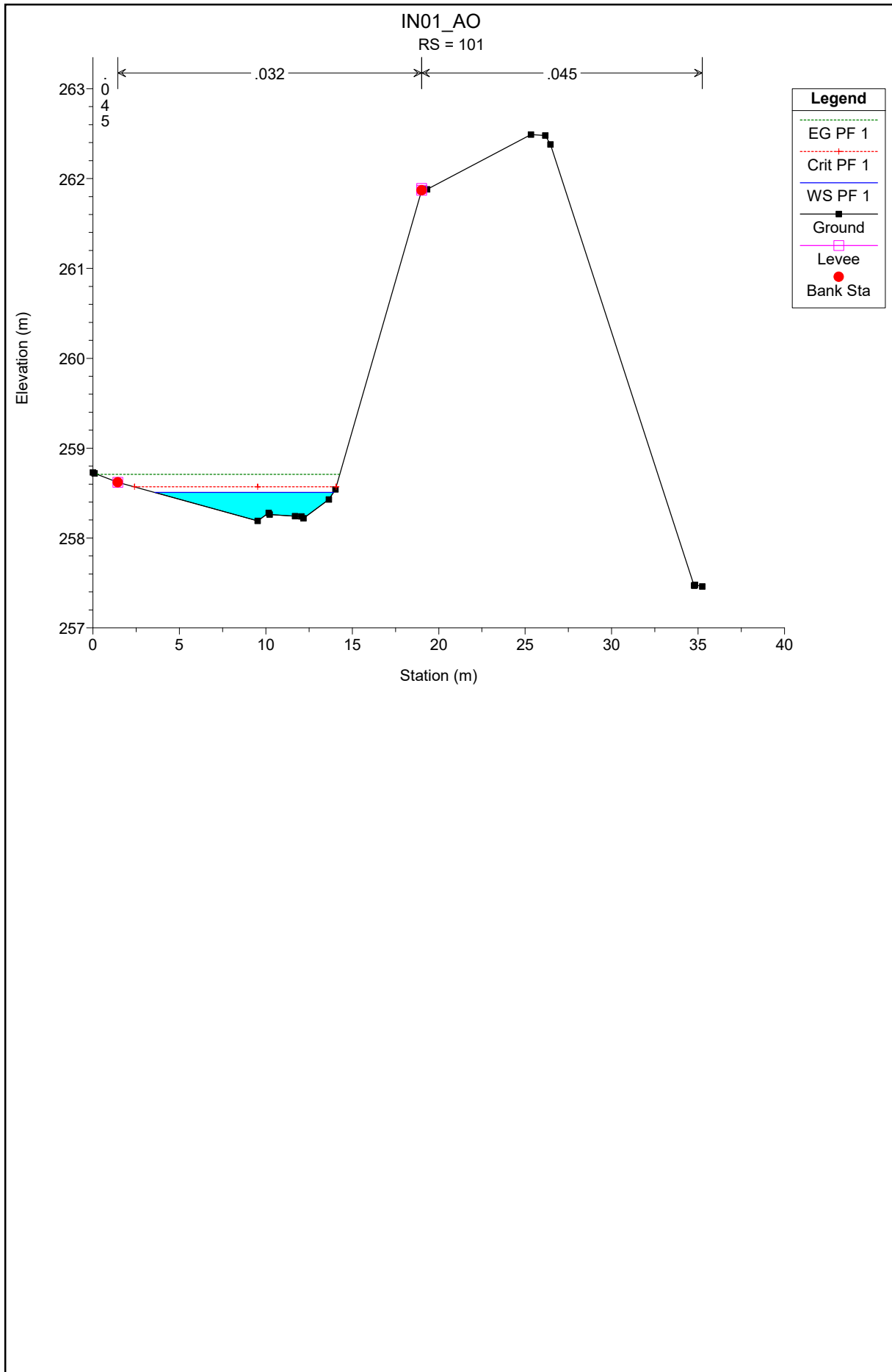


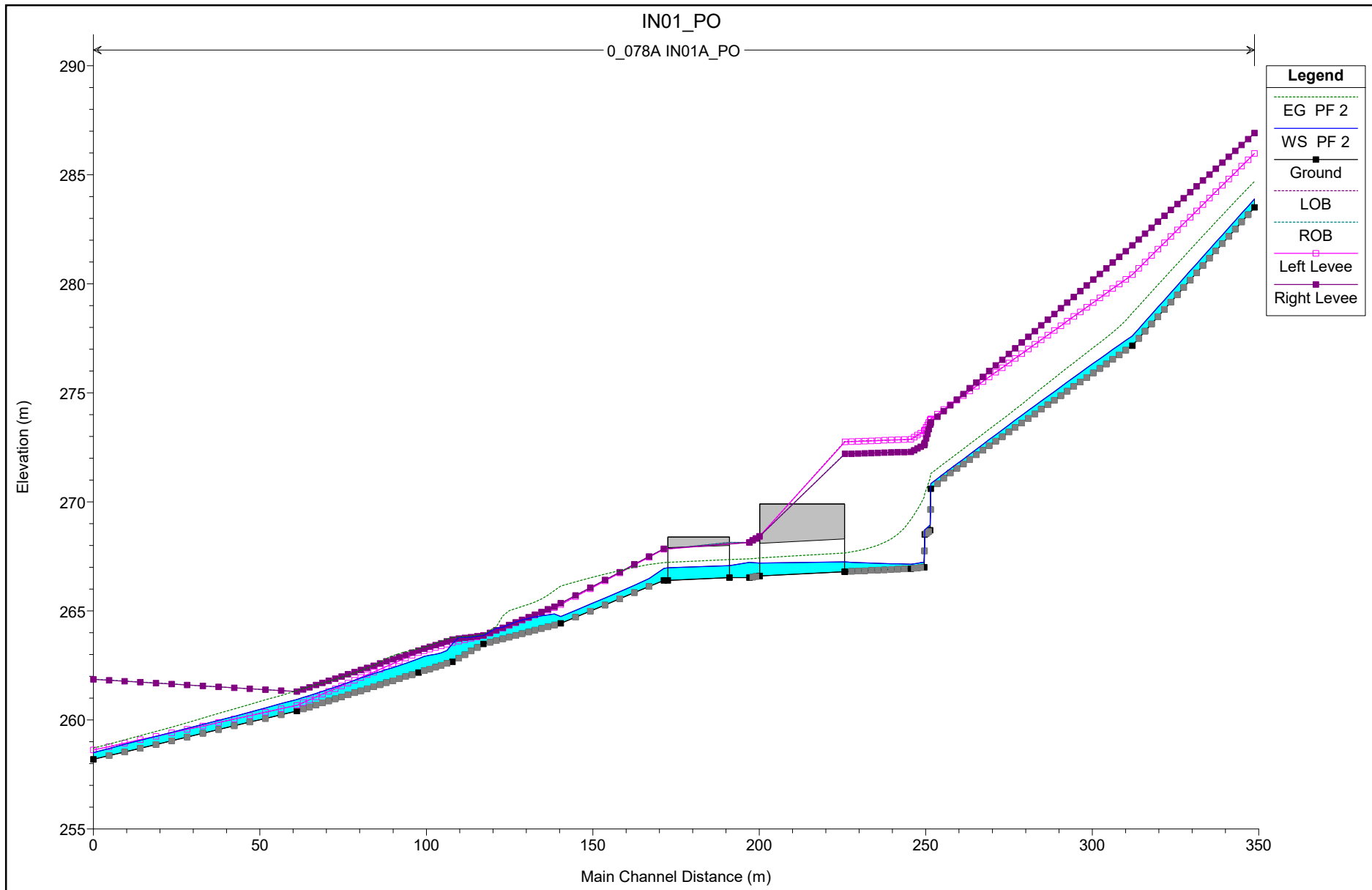


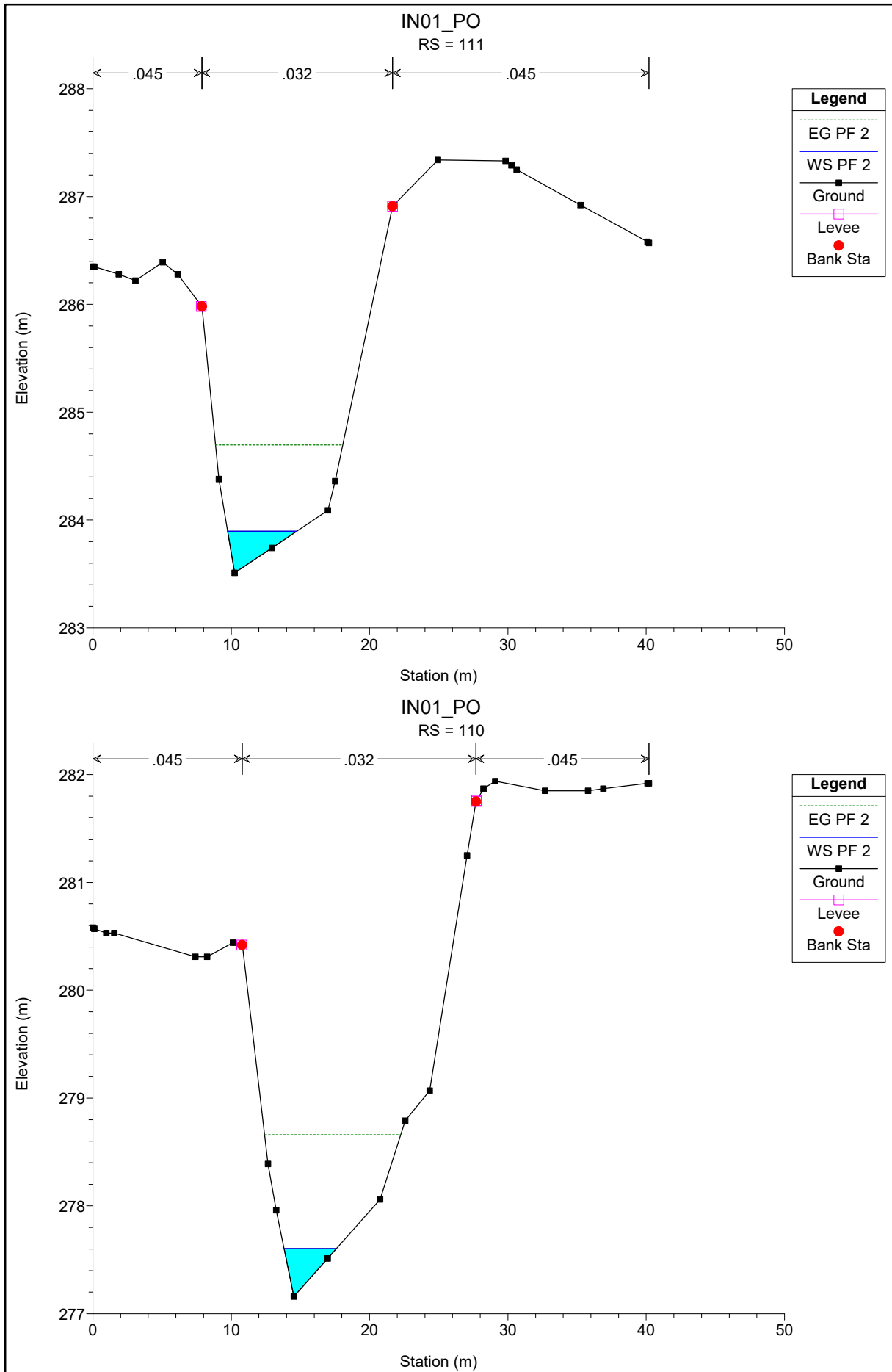


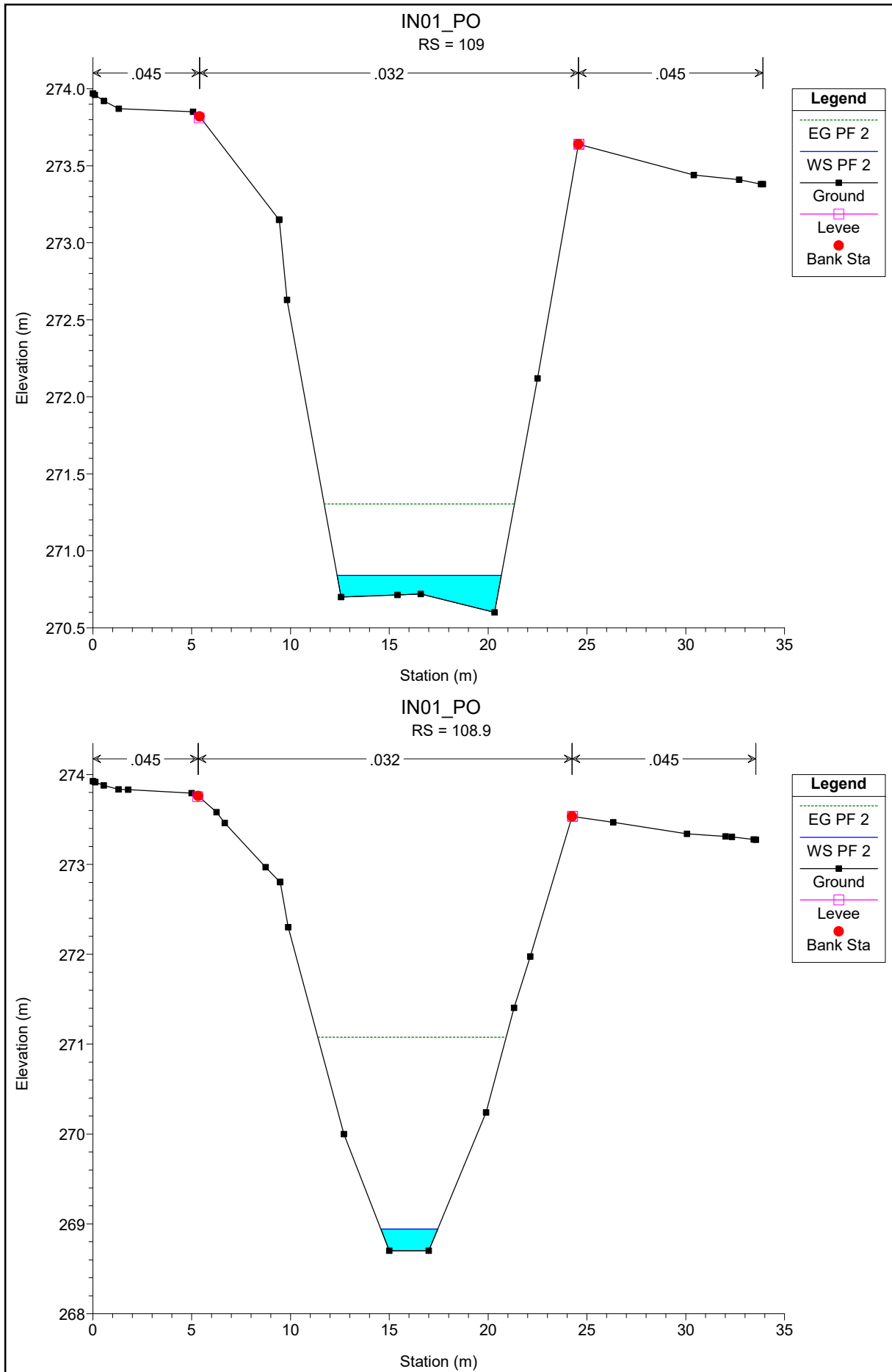


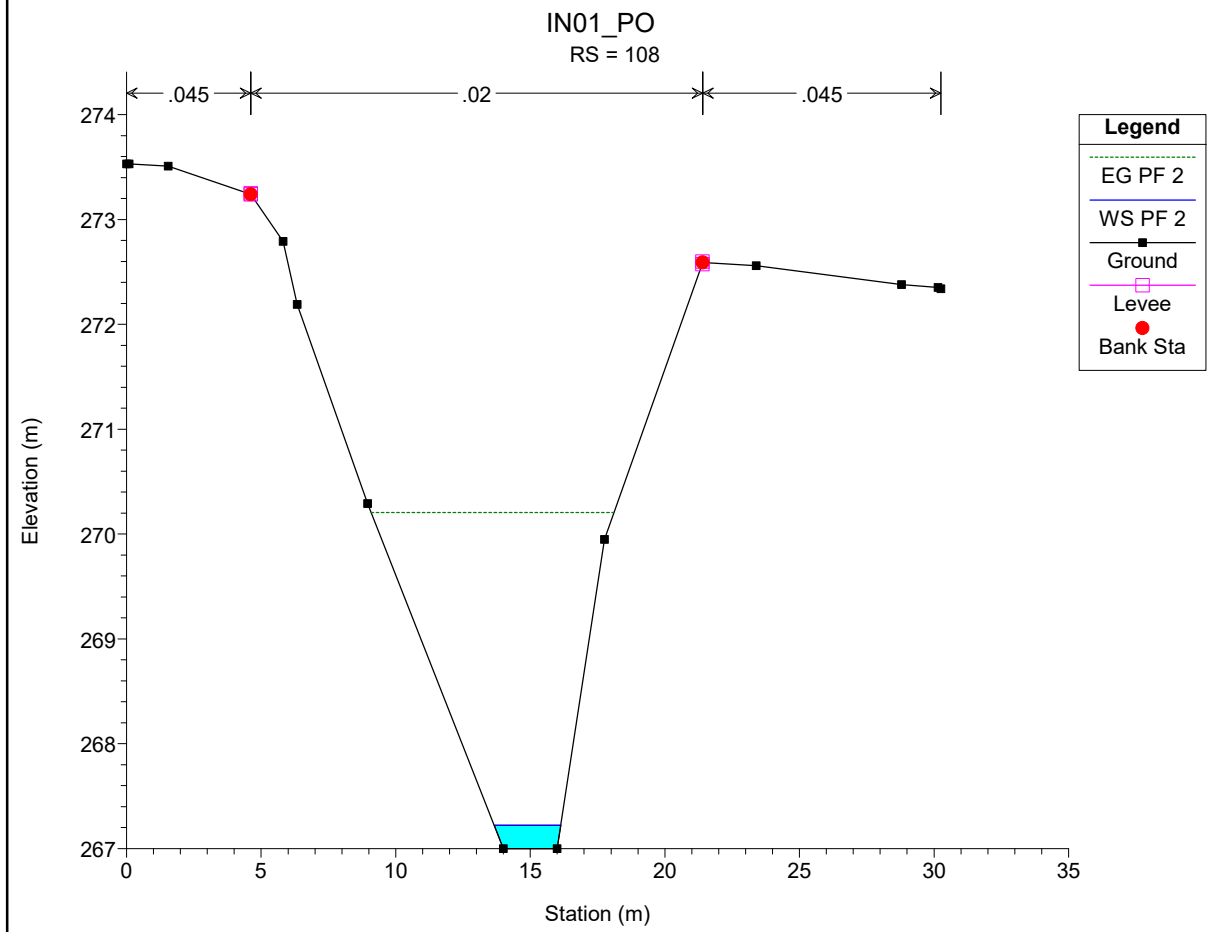
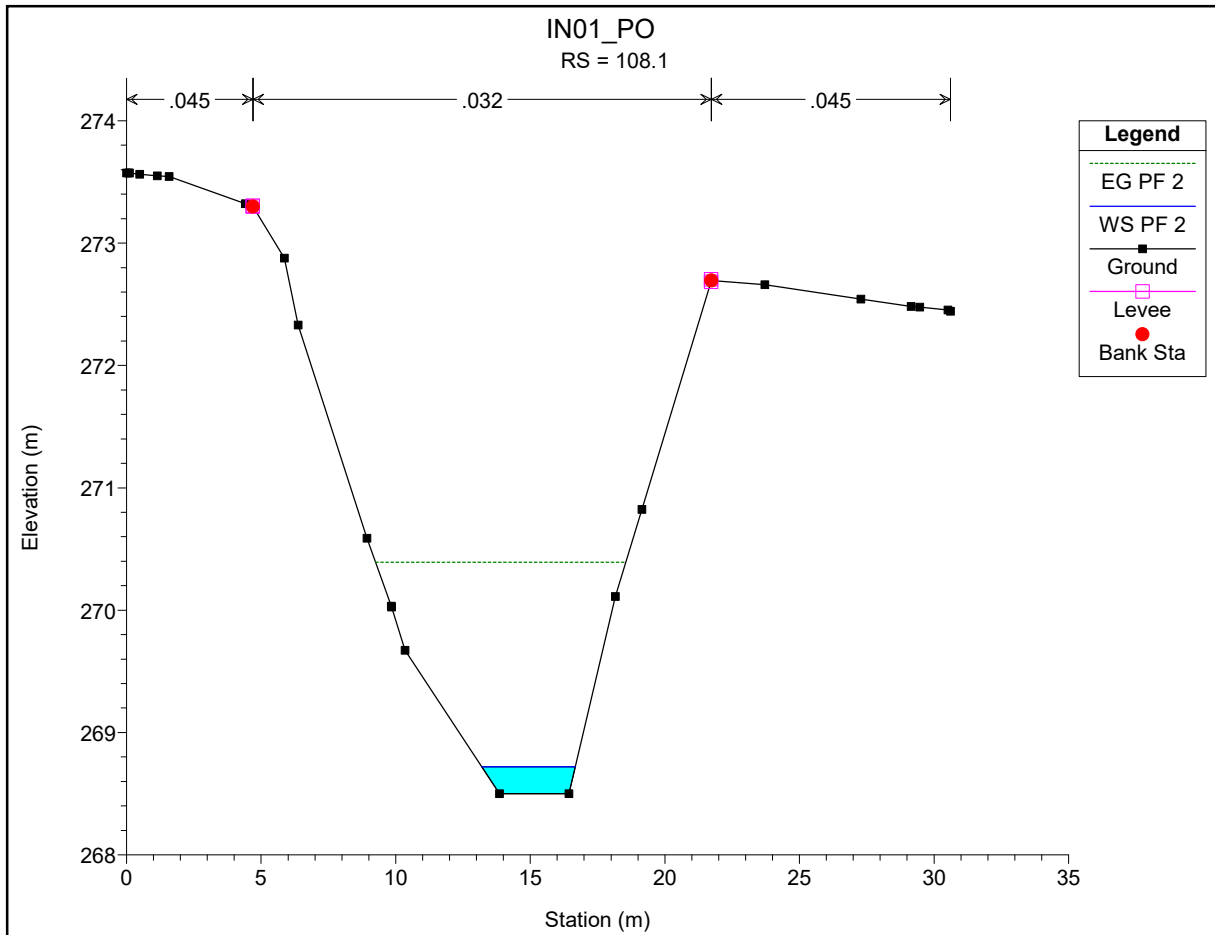


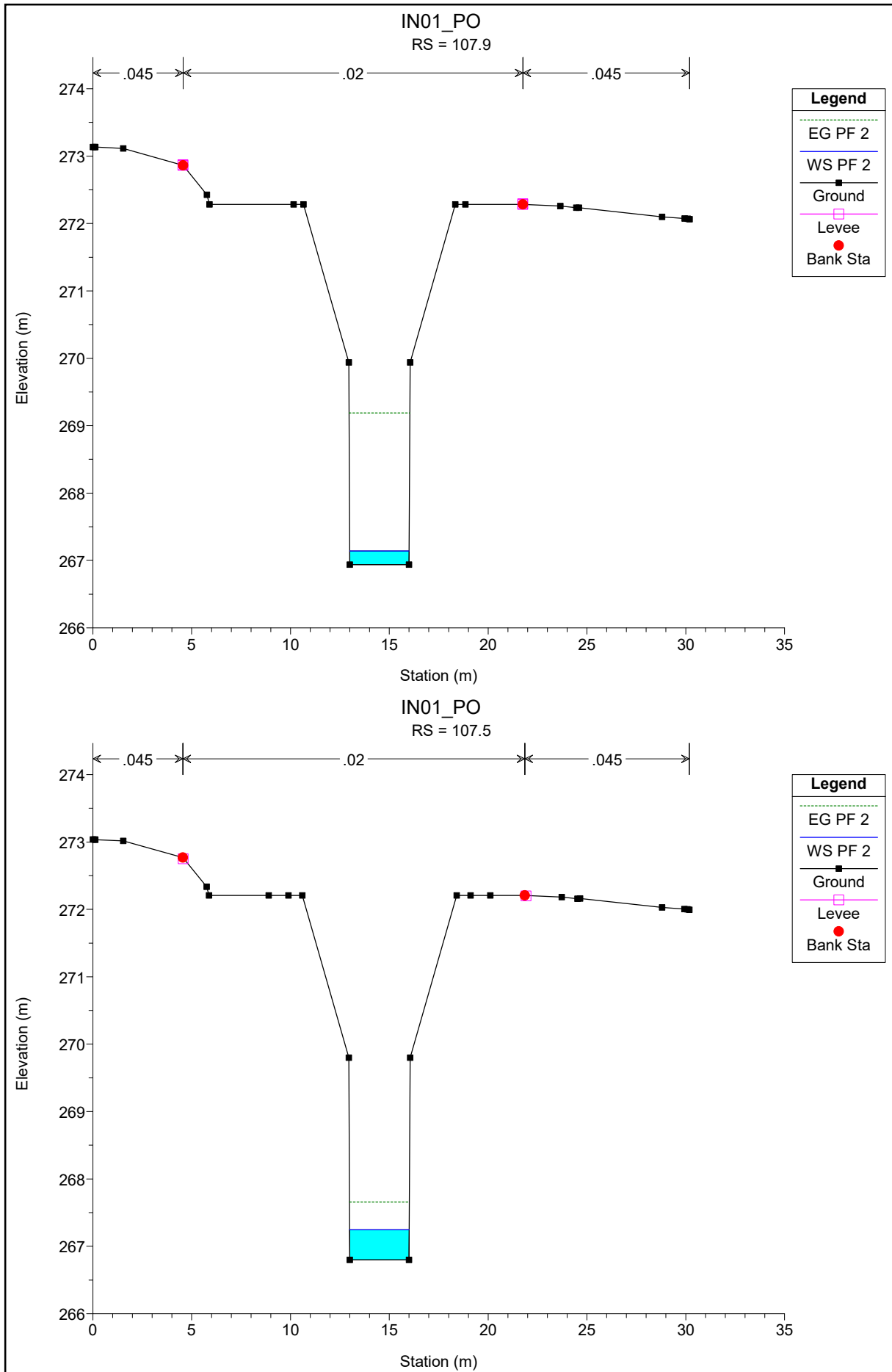


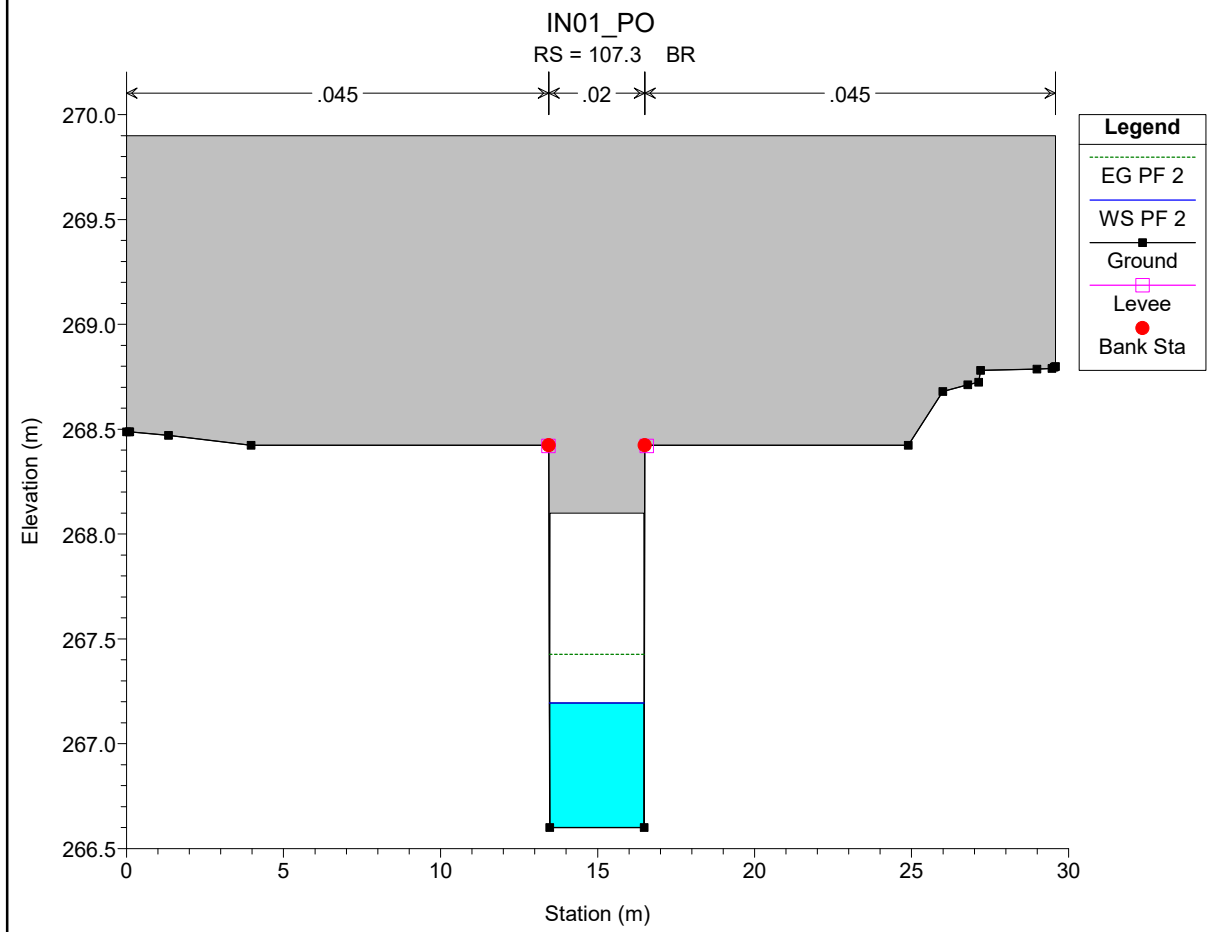
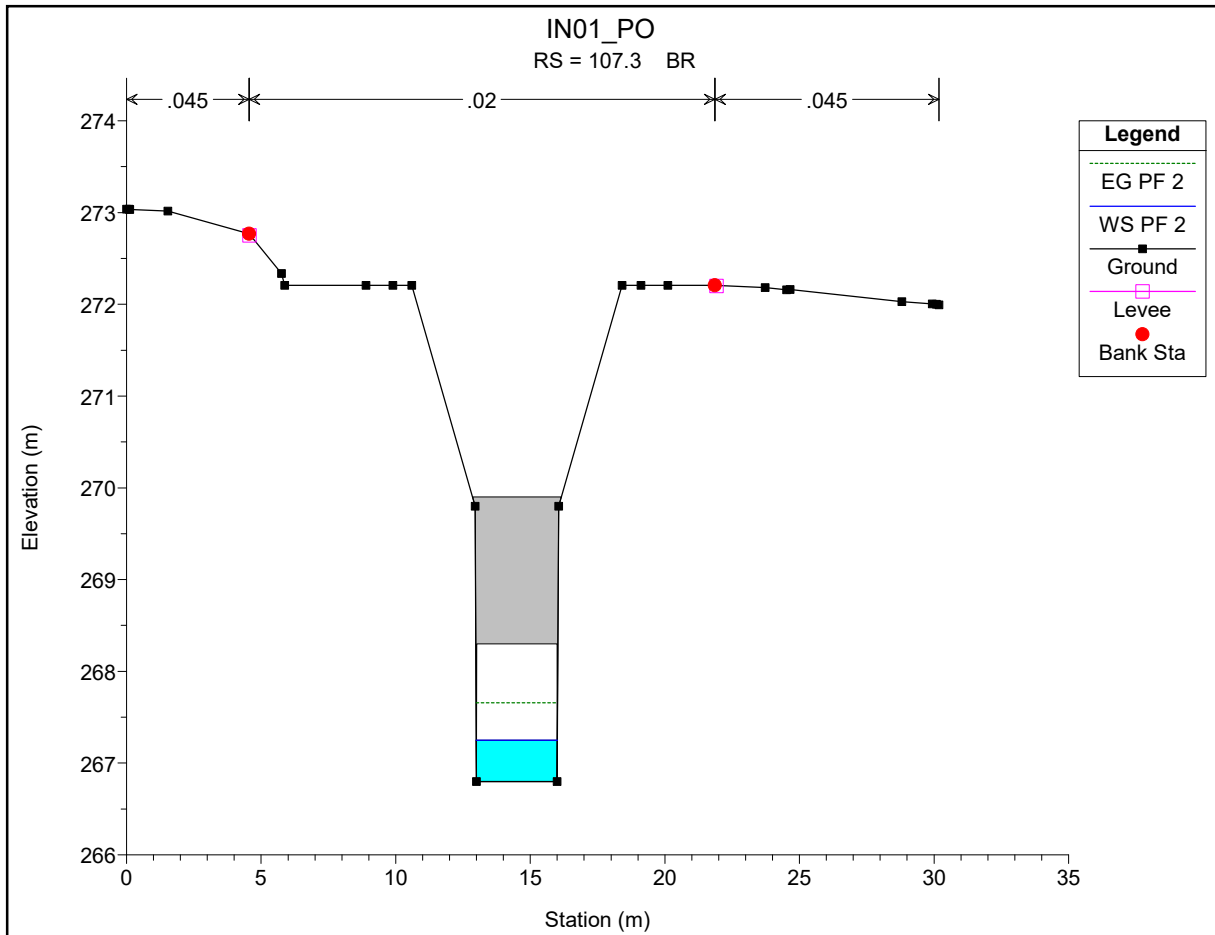


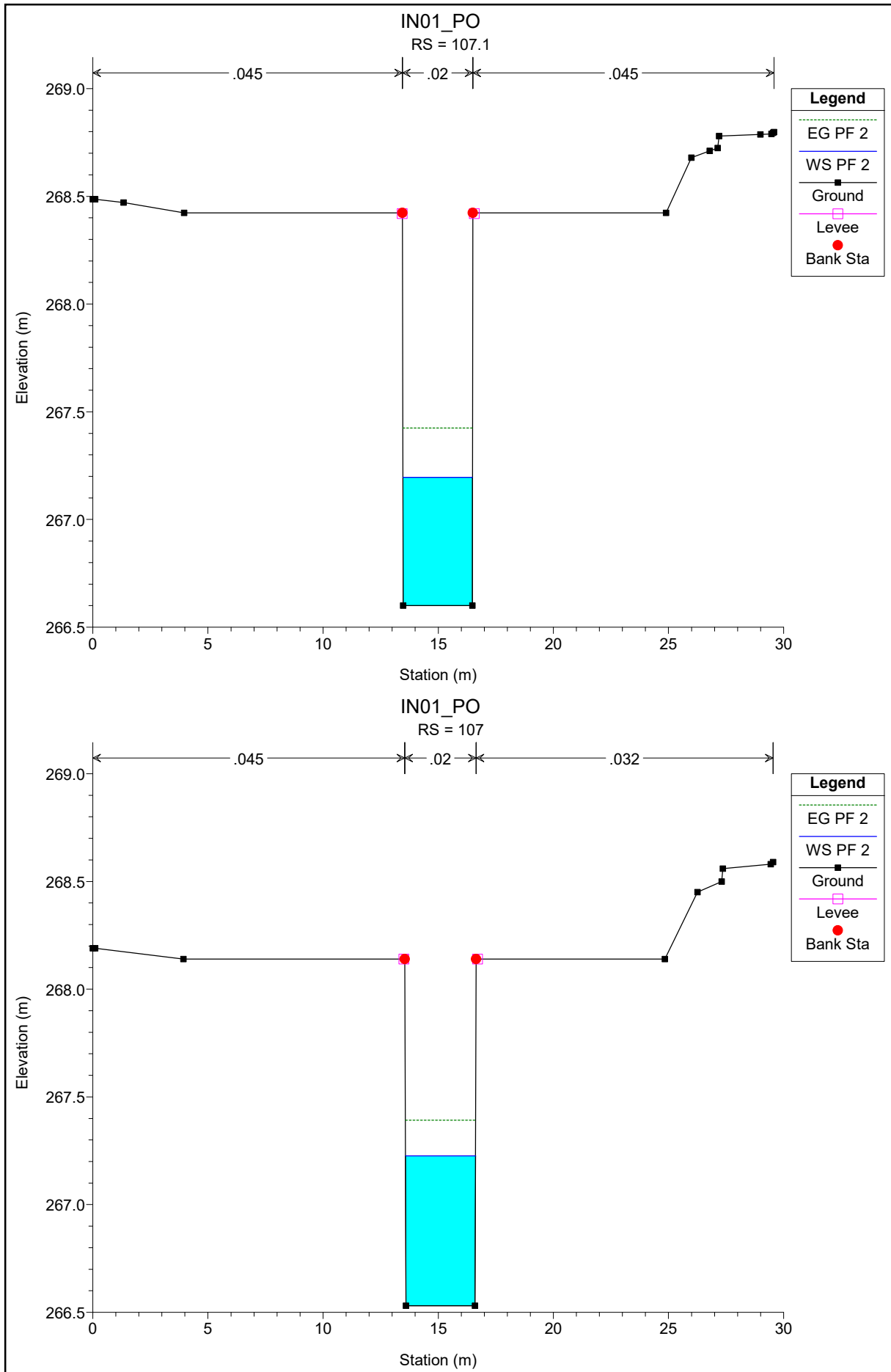


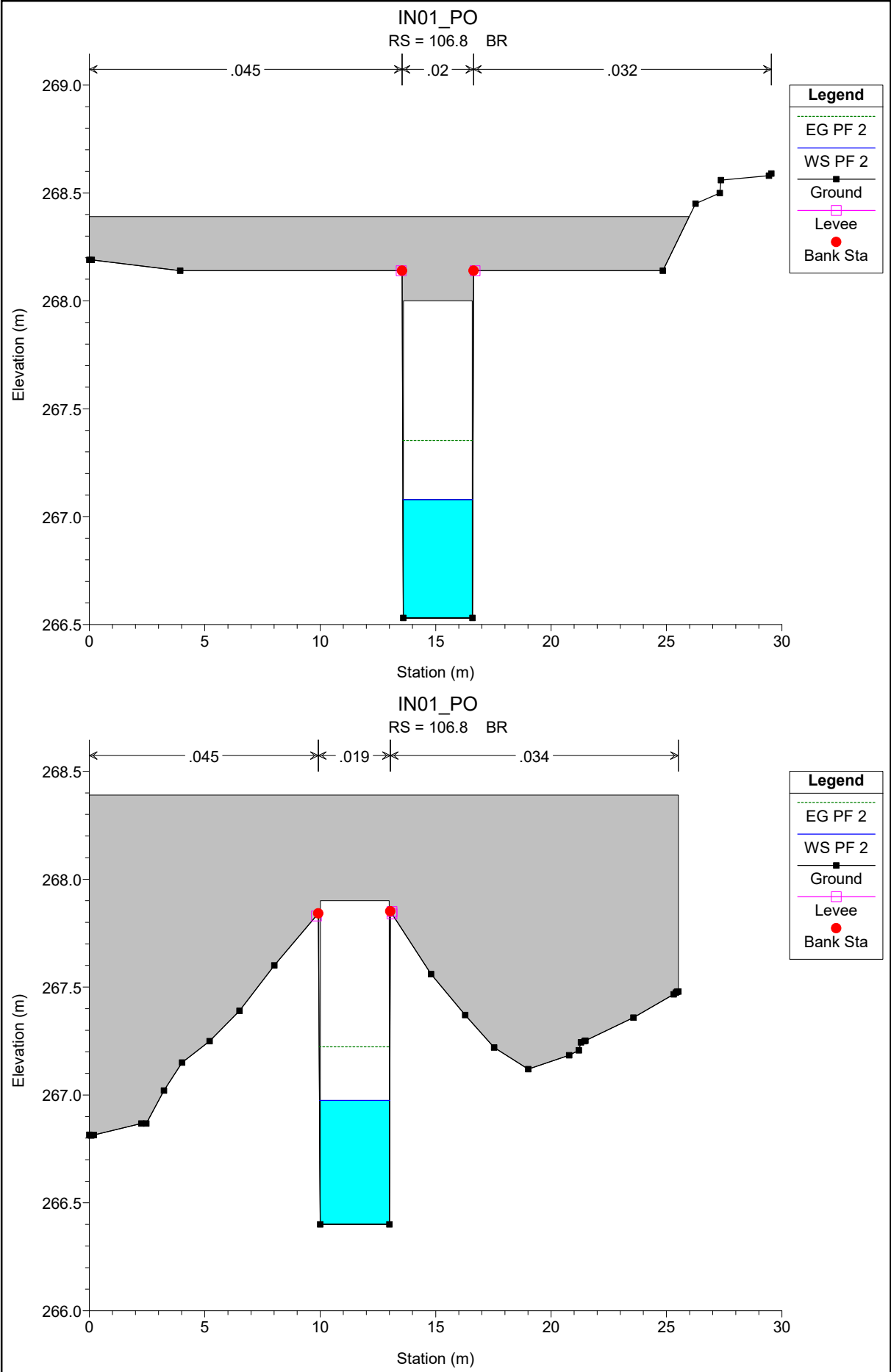


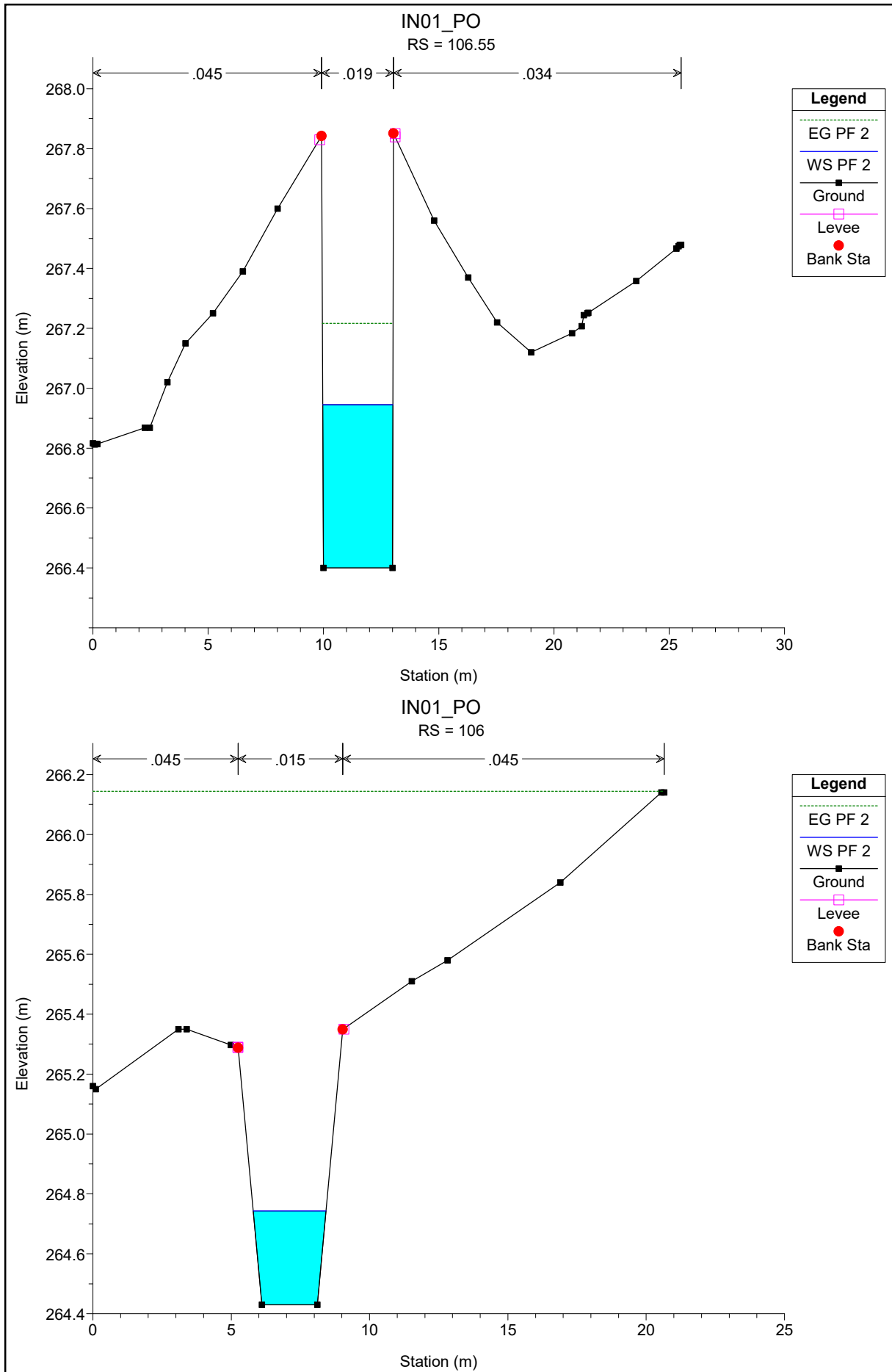


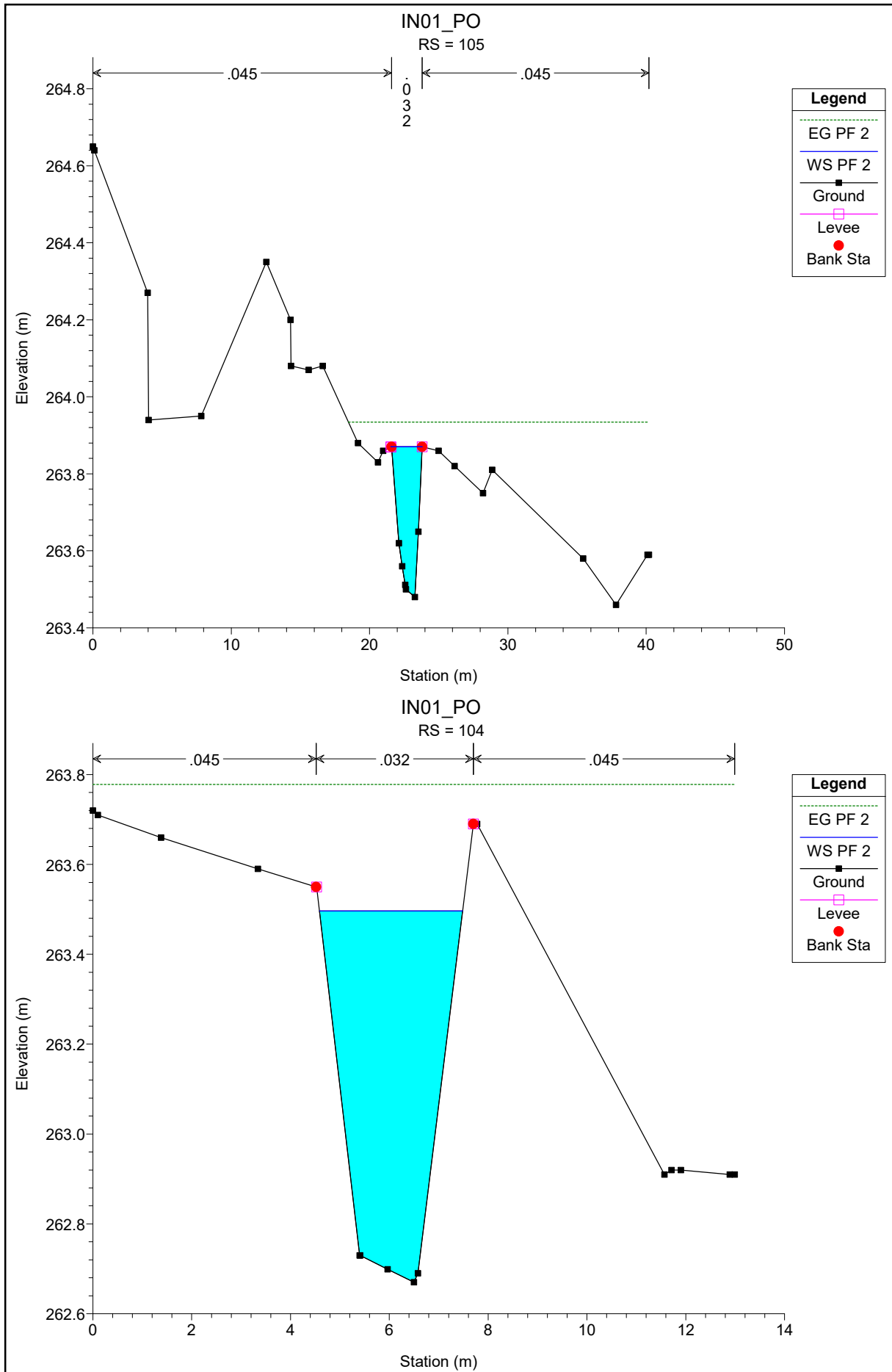


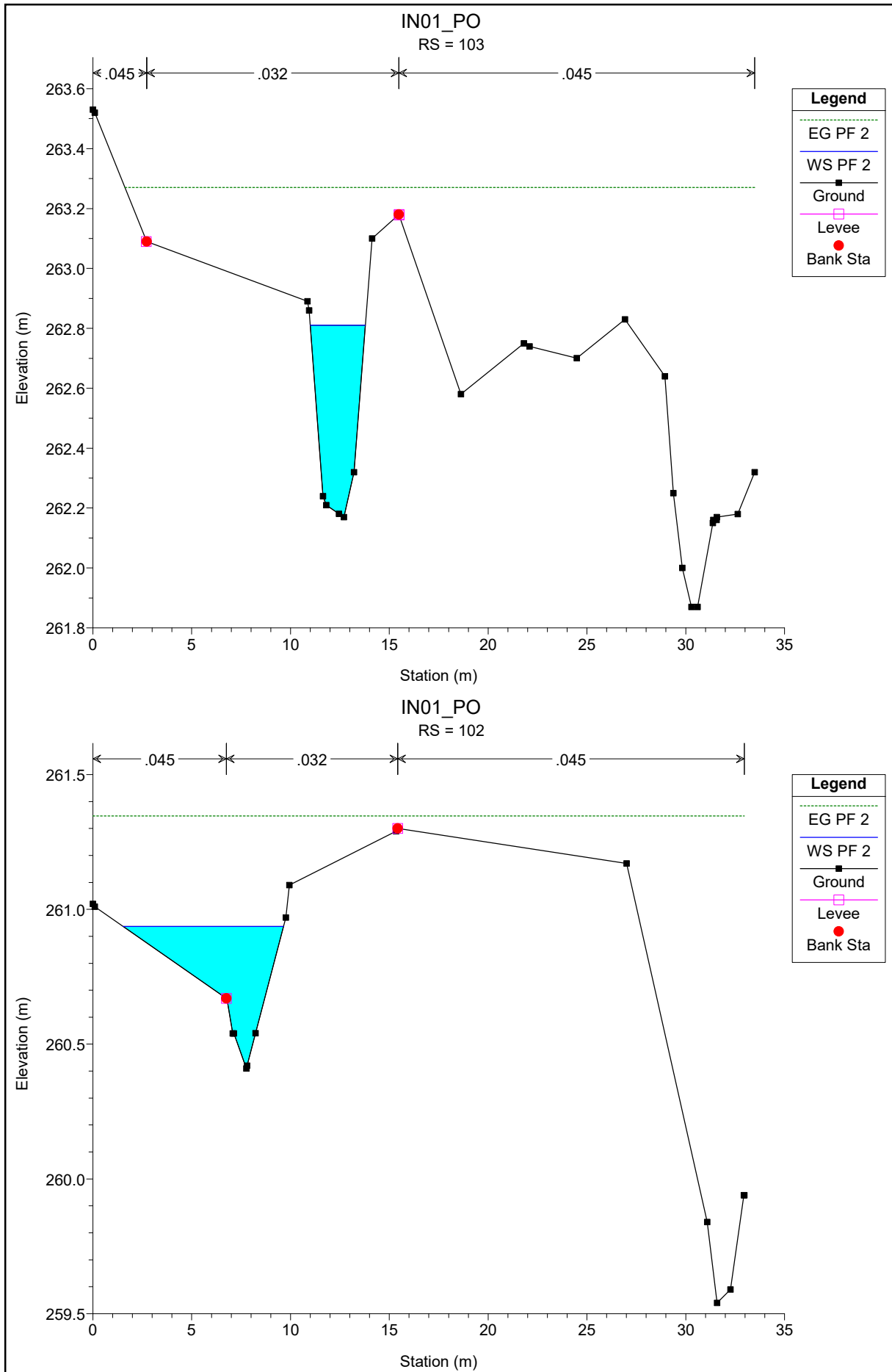


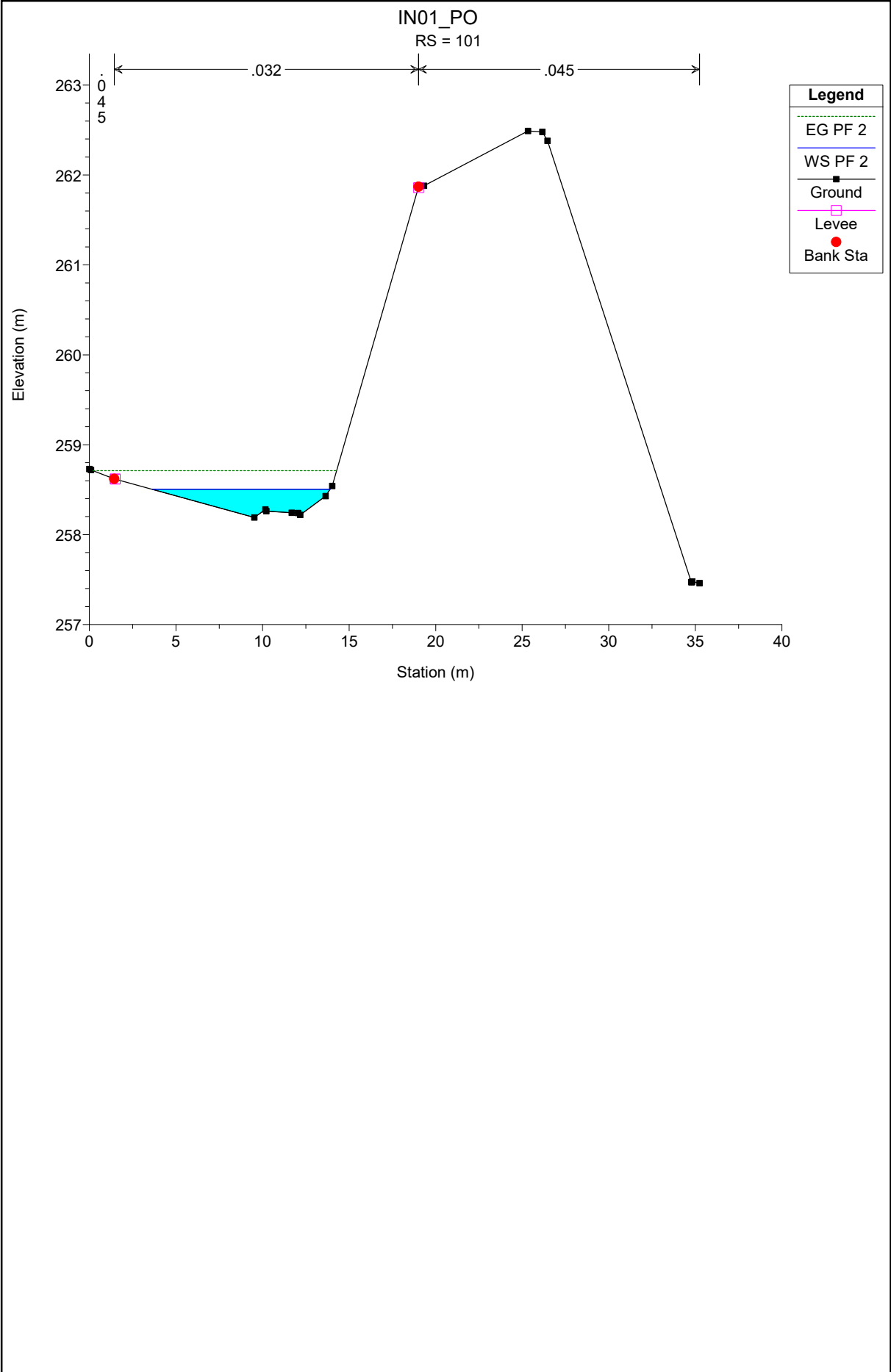






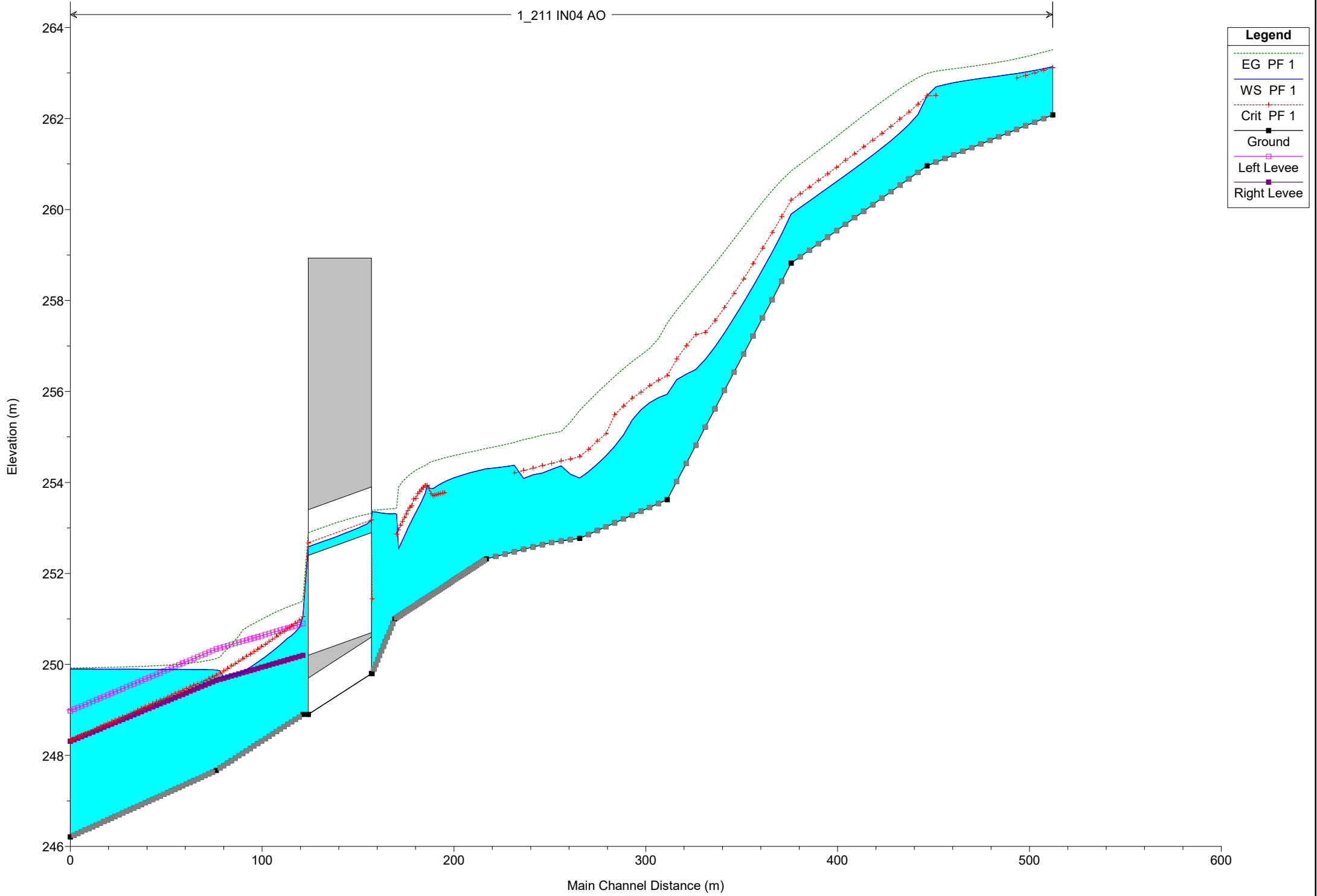


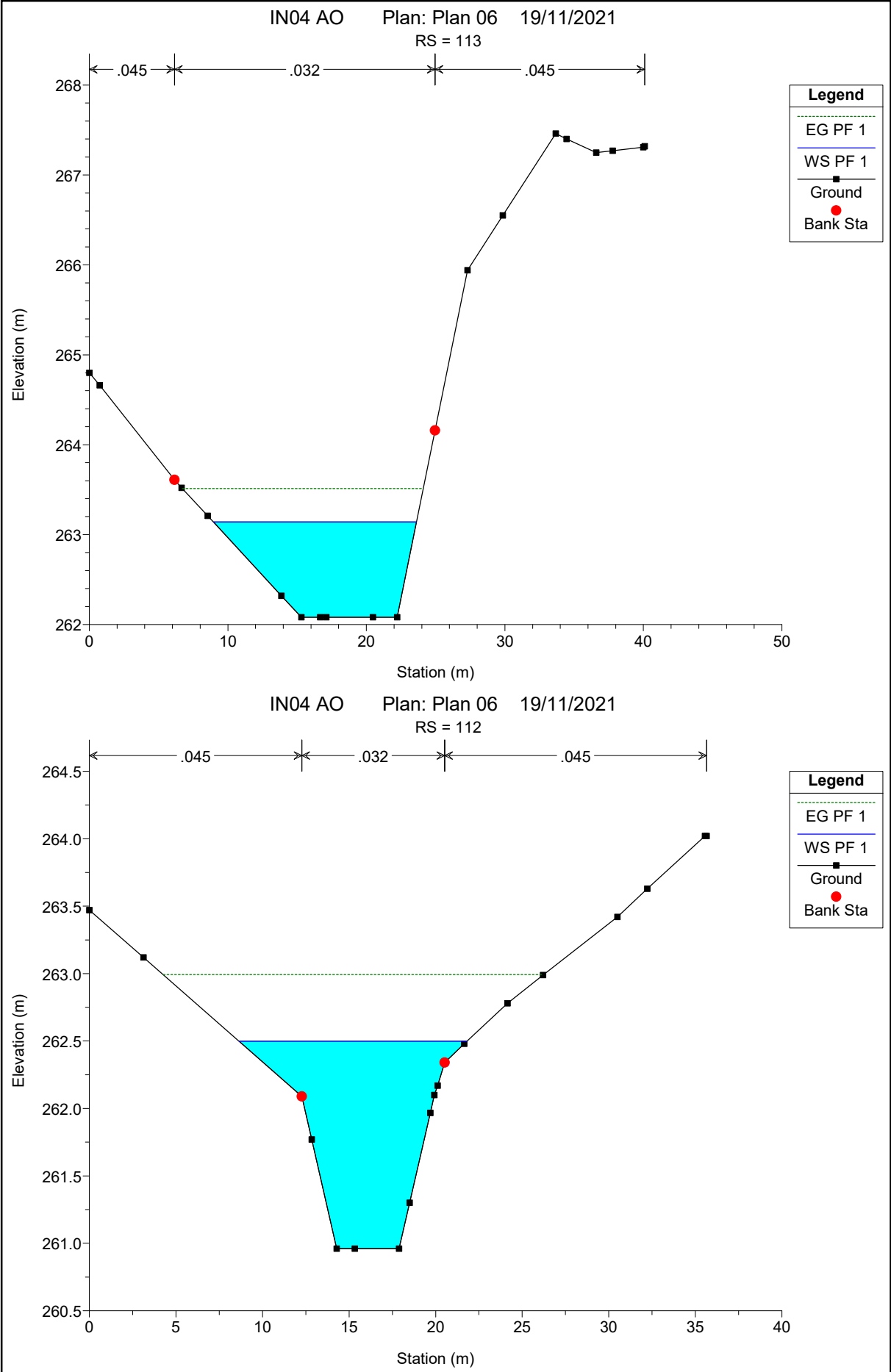


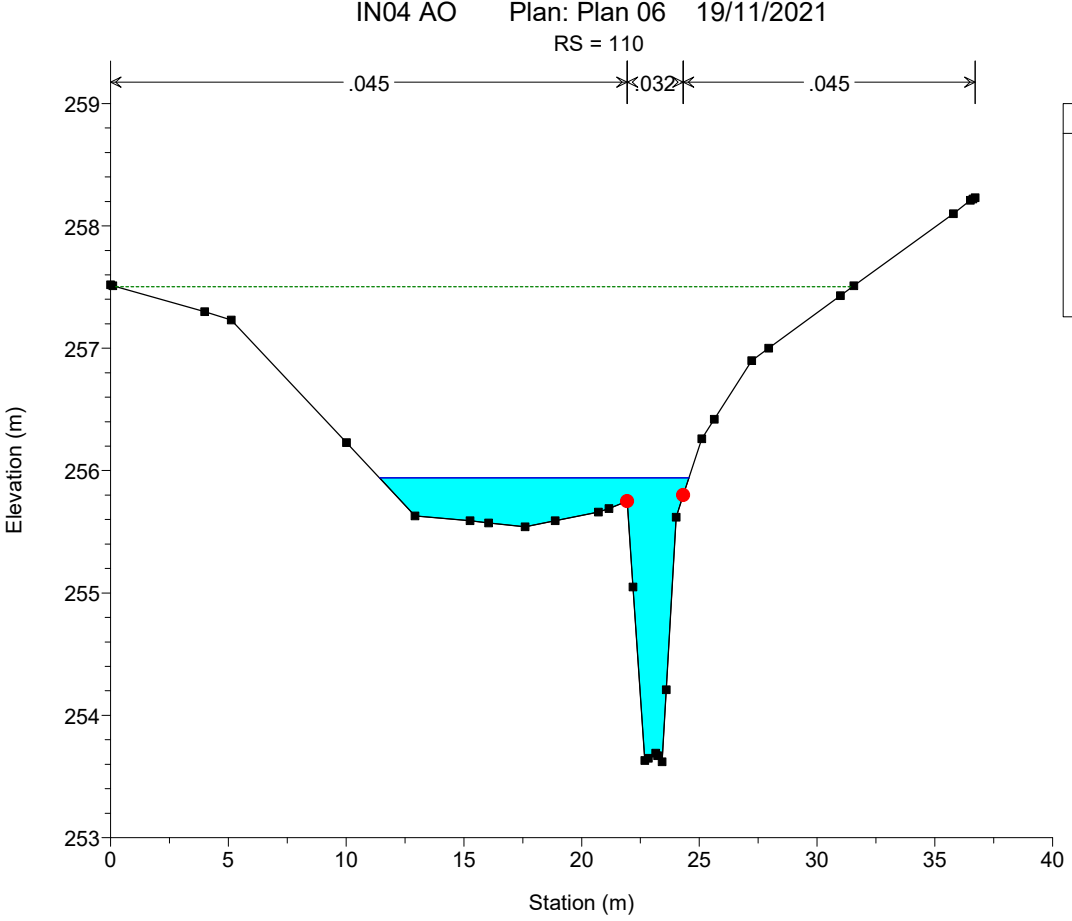
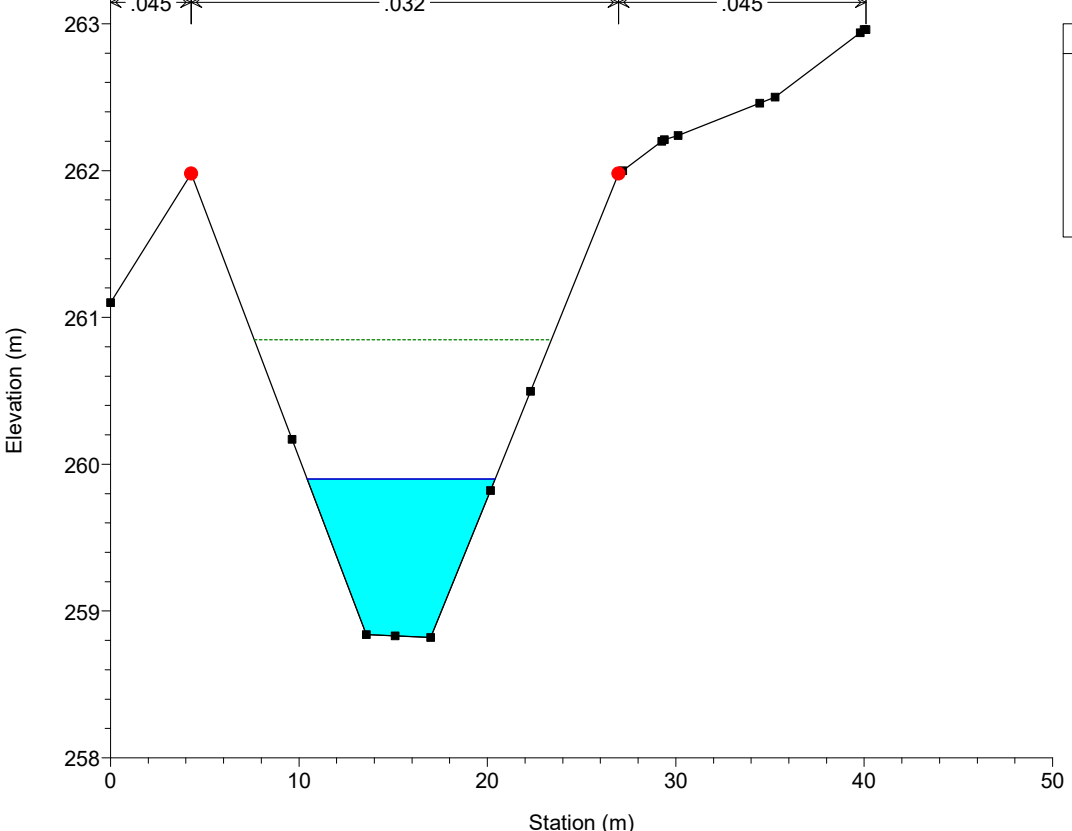
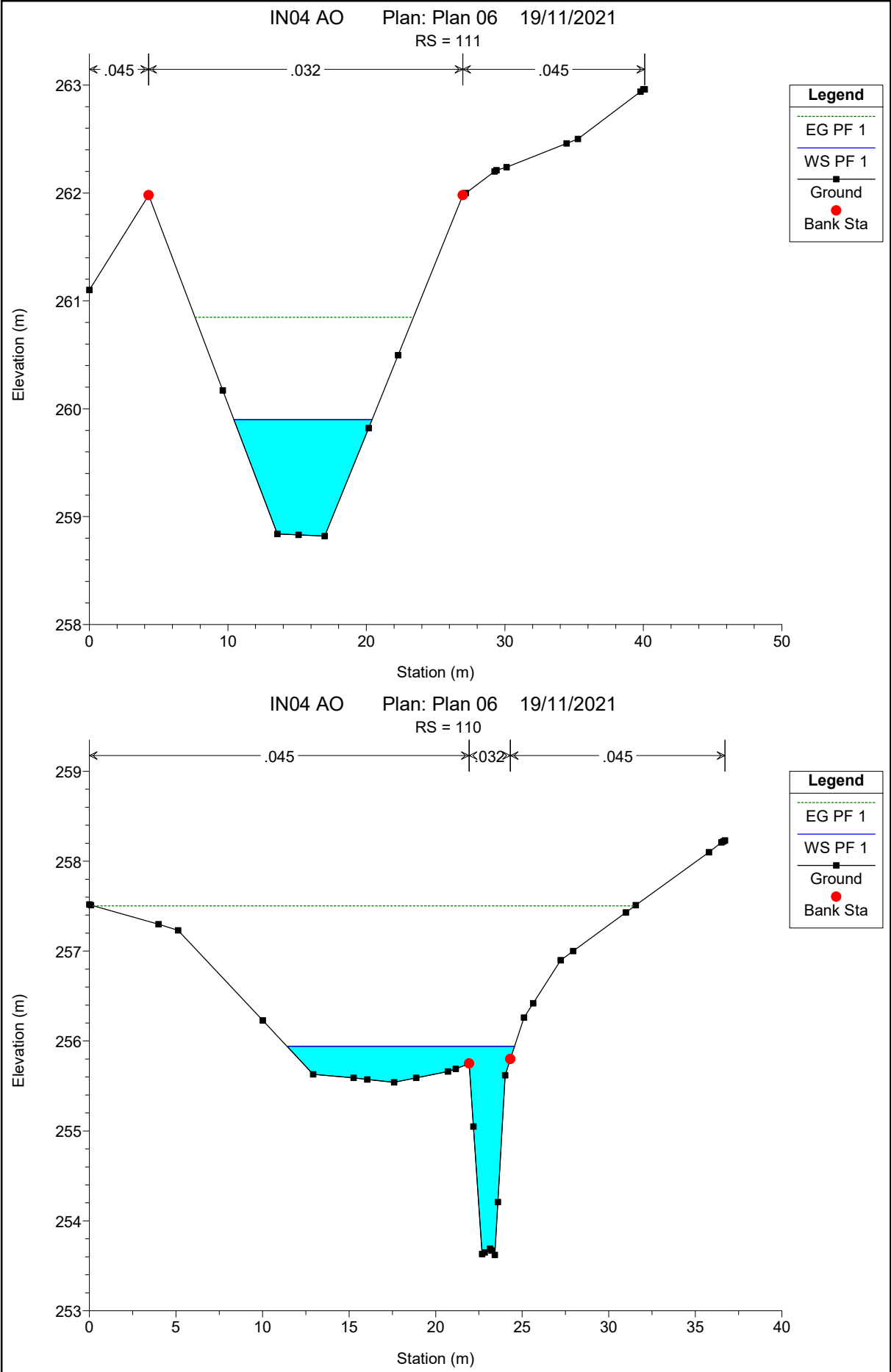


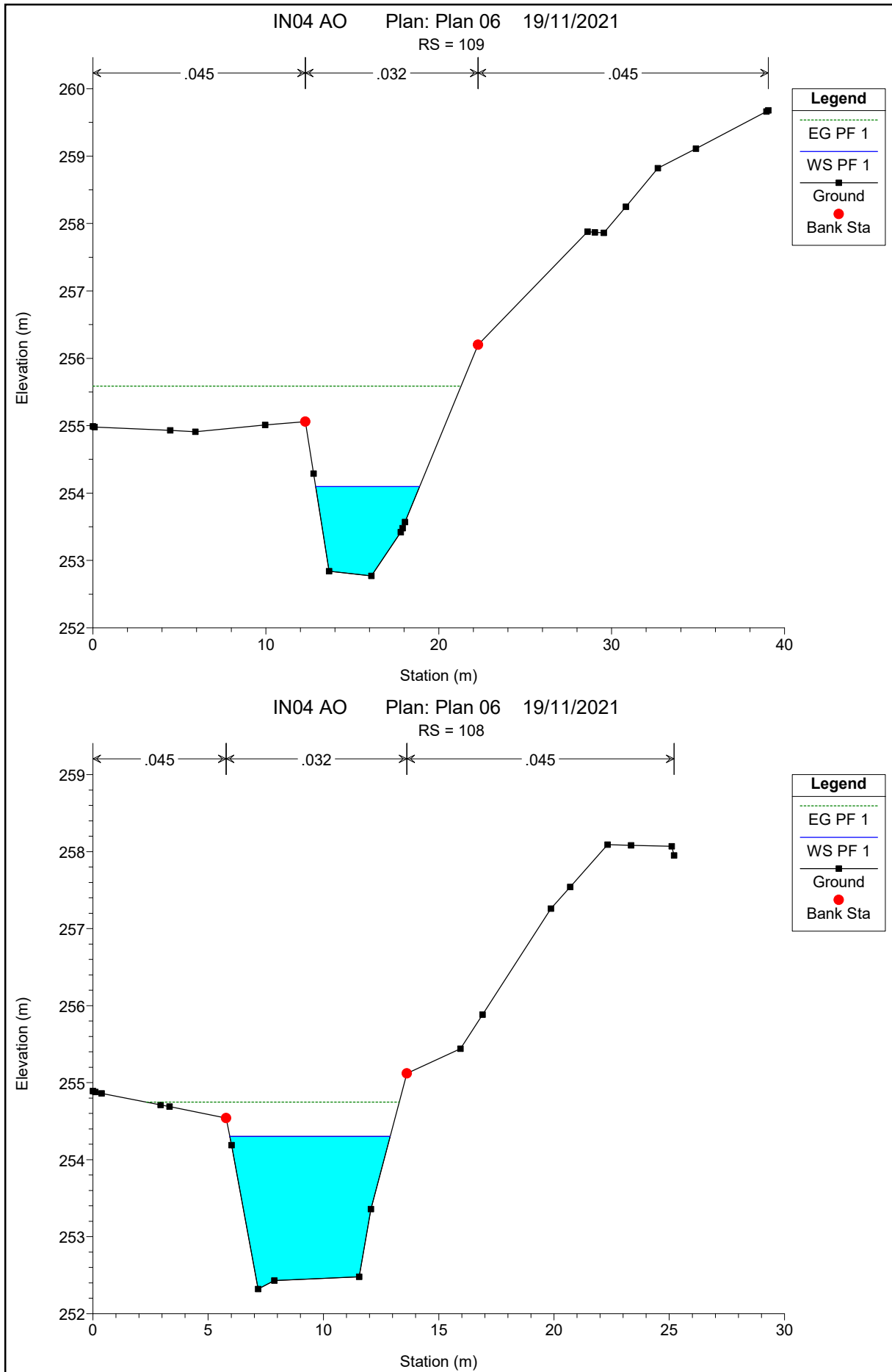
IN04 AO

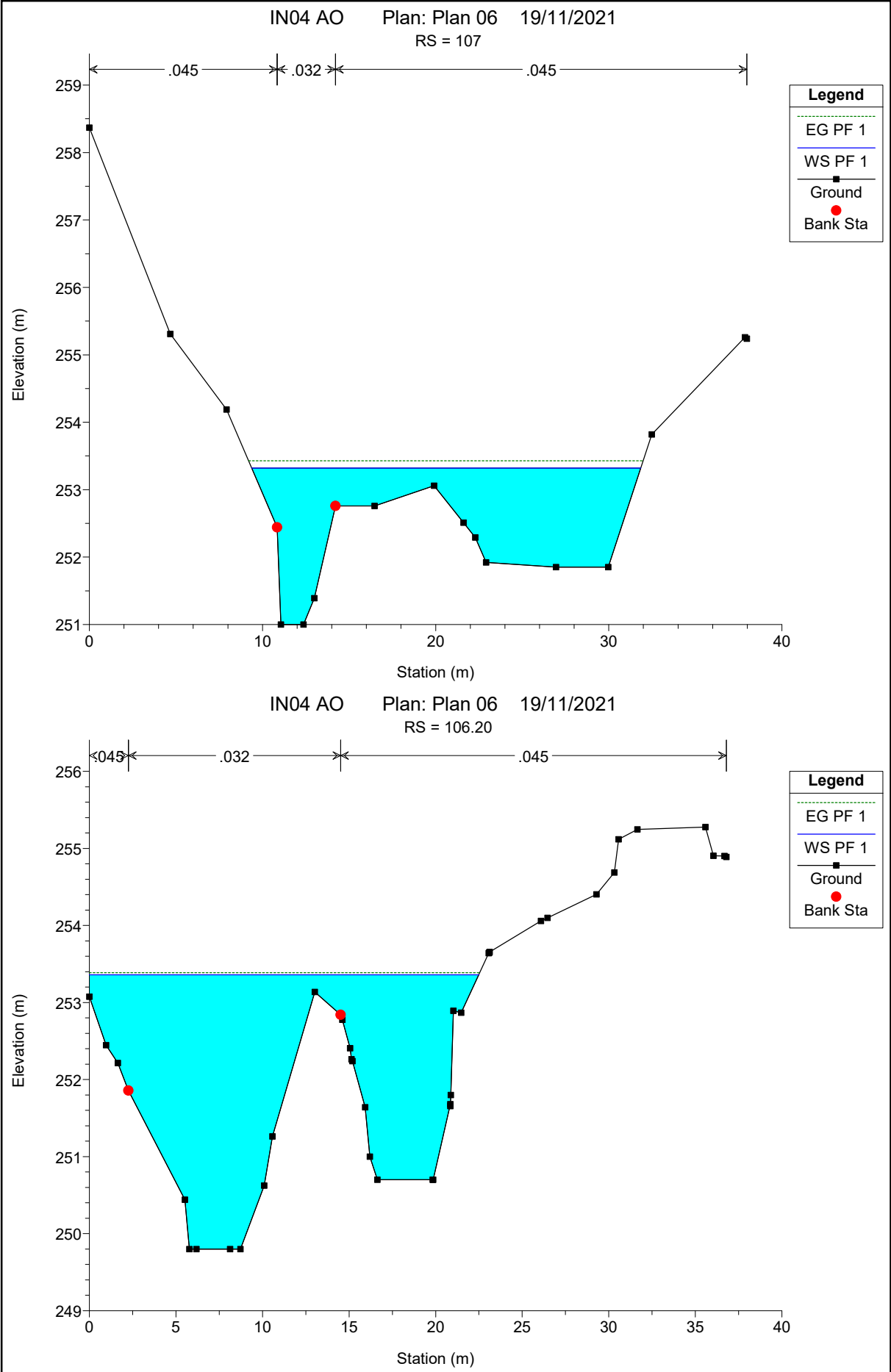
1_211 IN04 AO

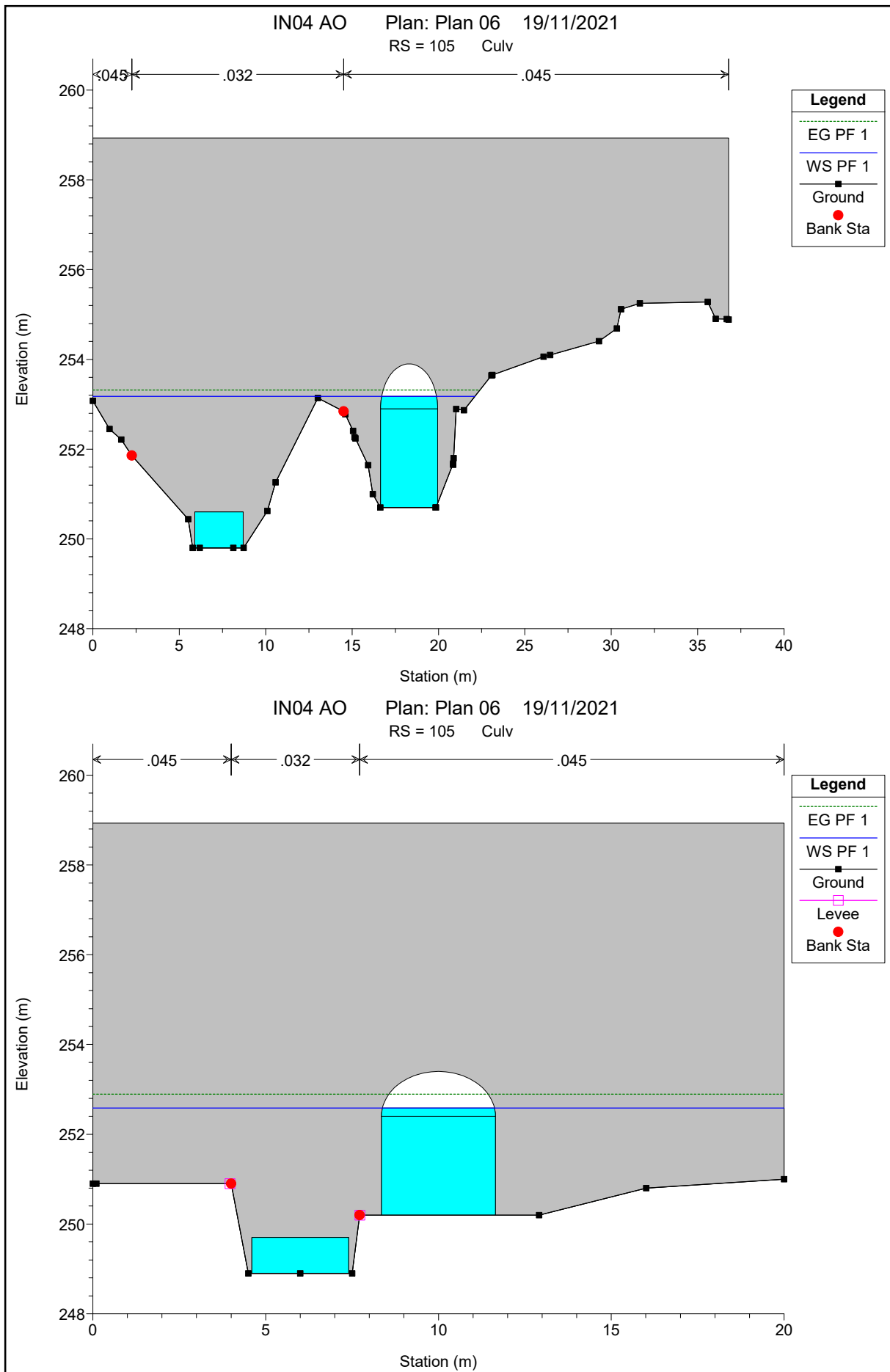


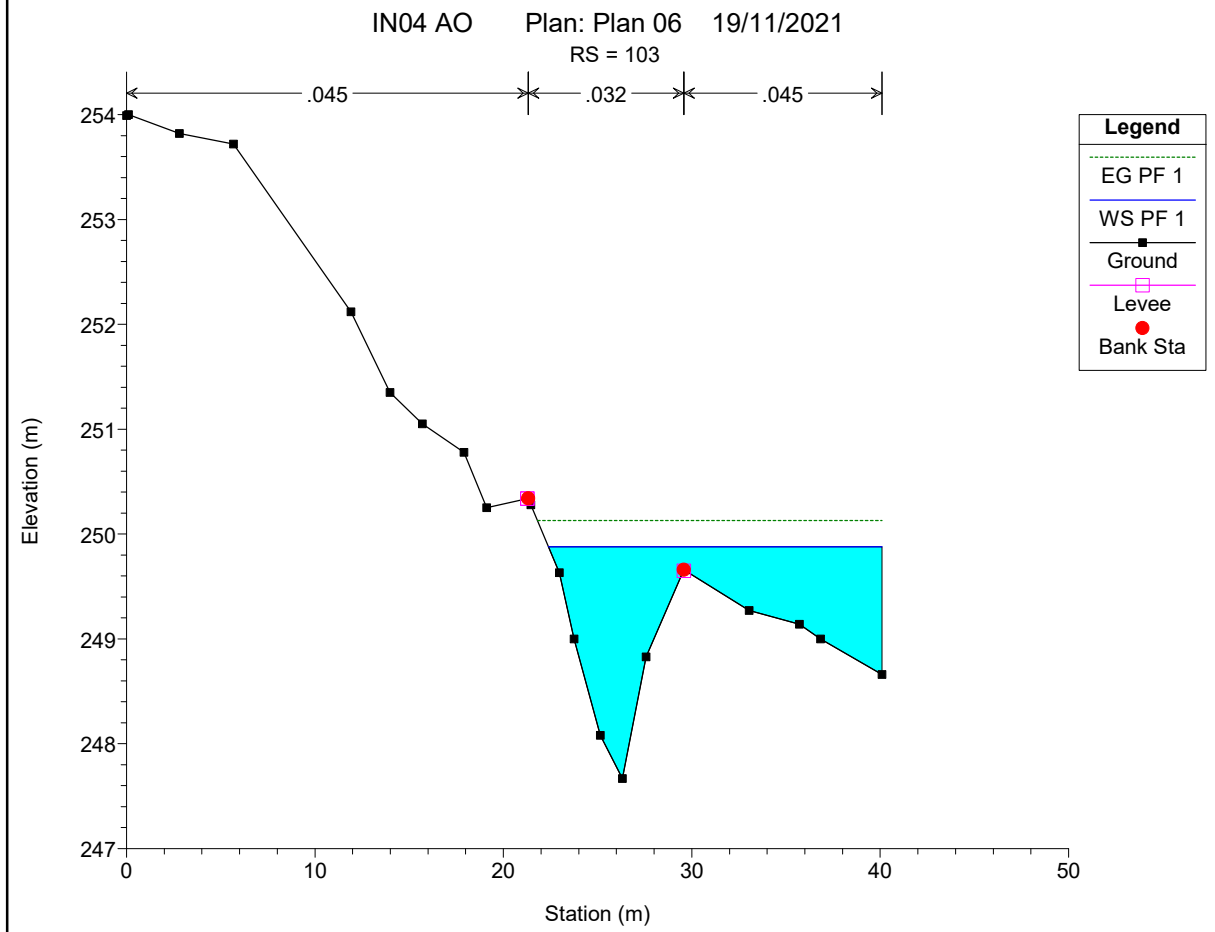
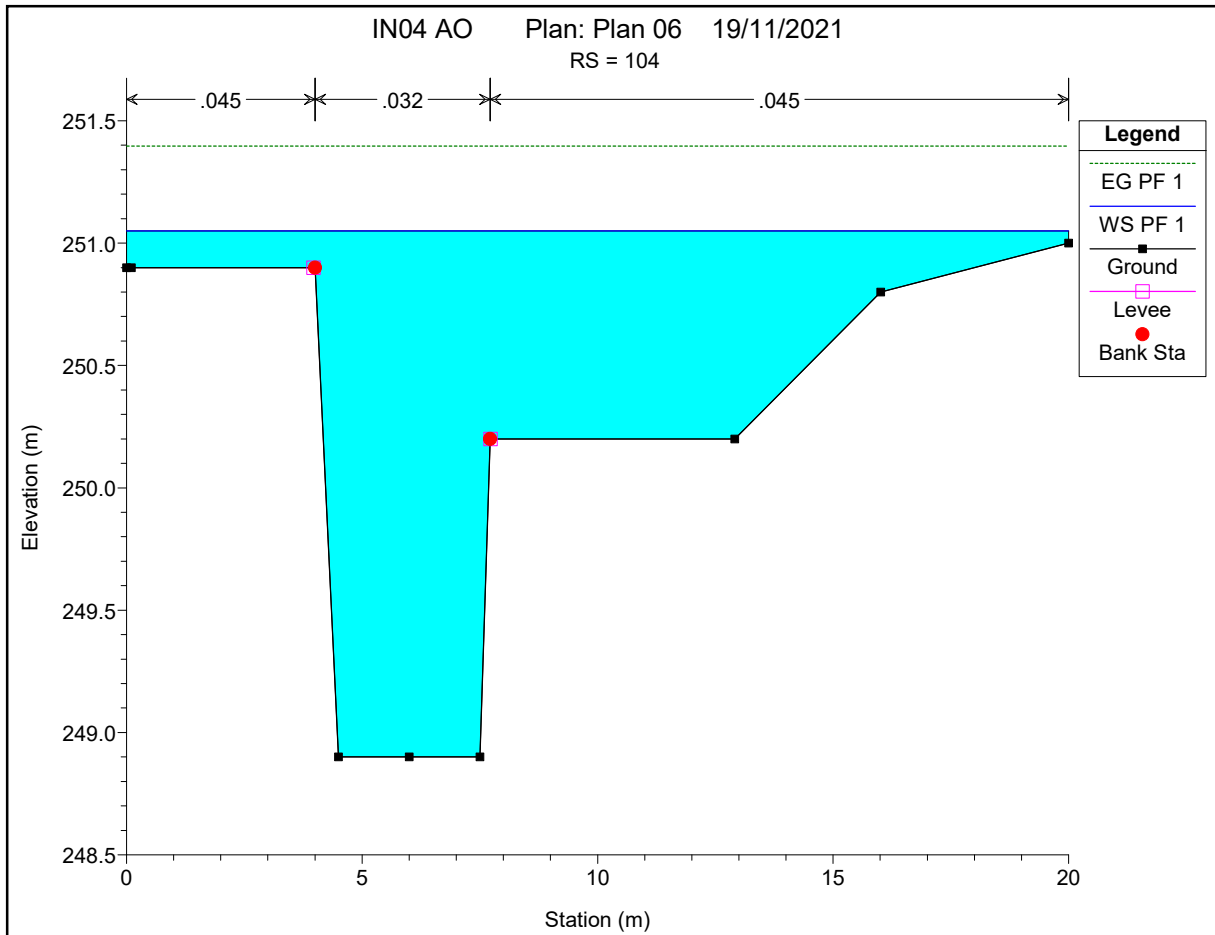






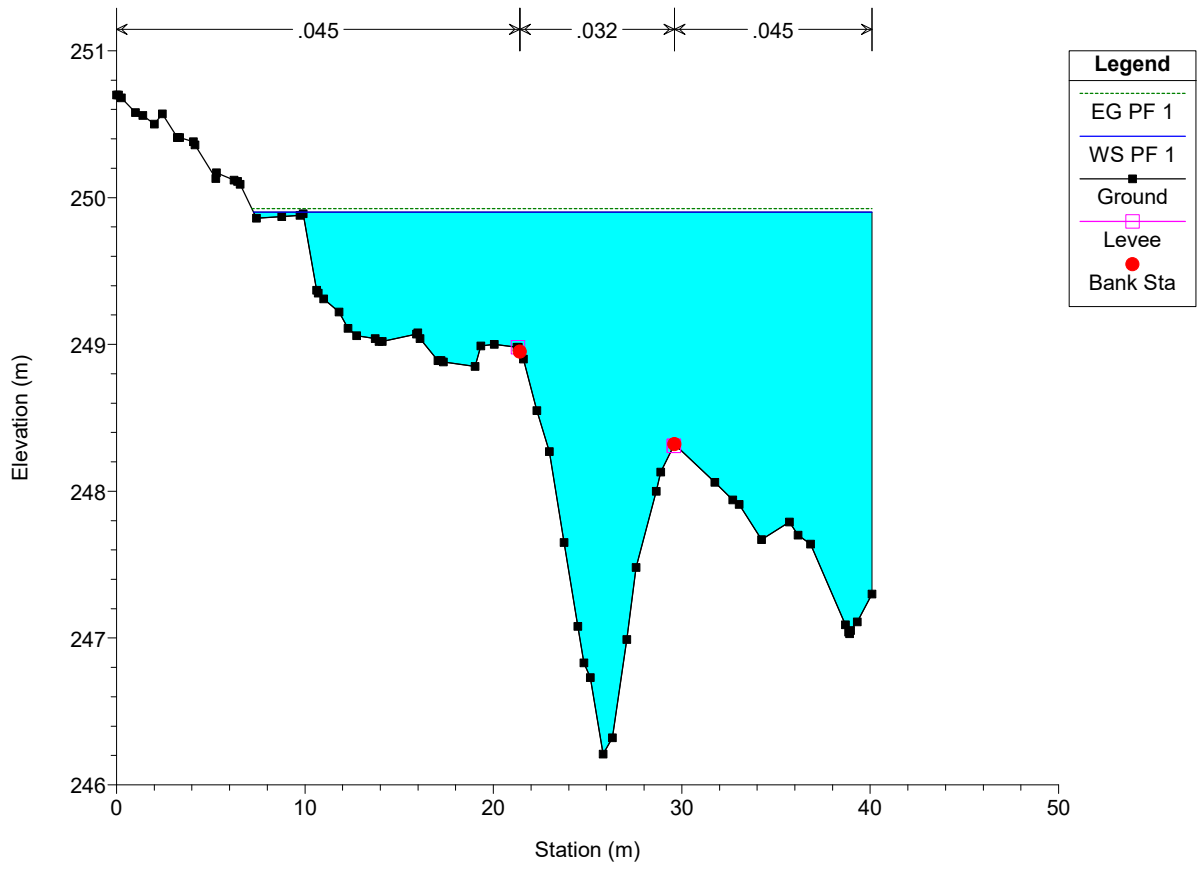


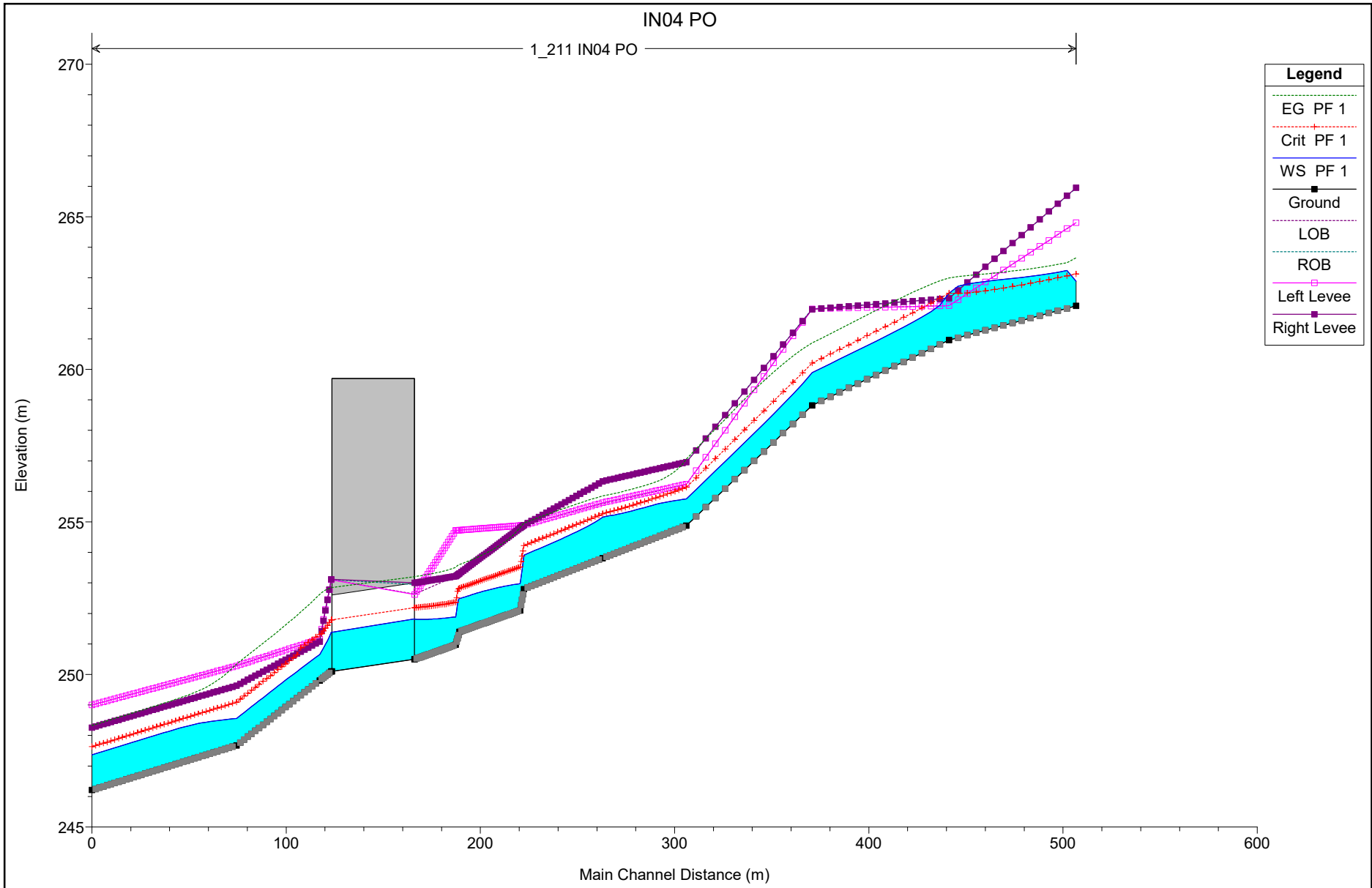


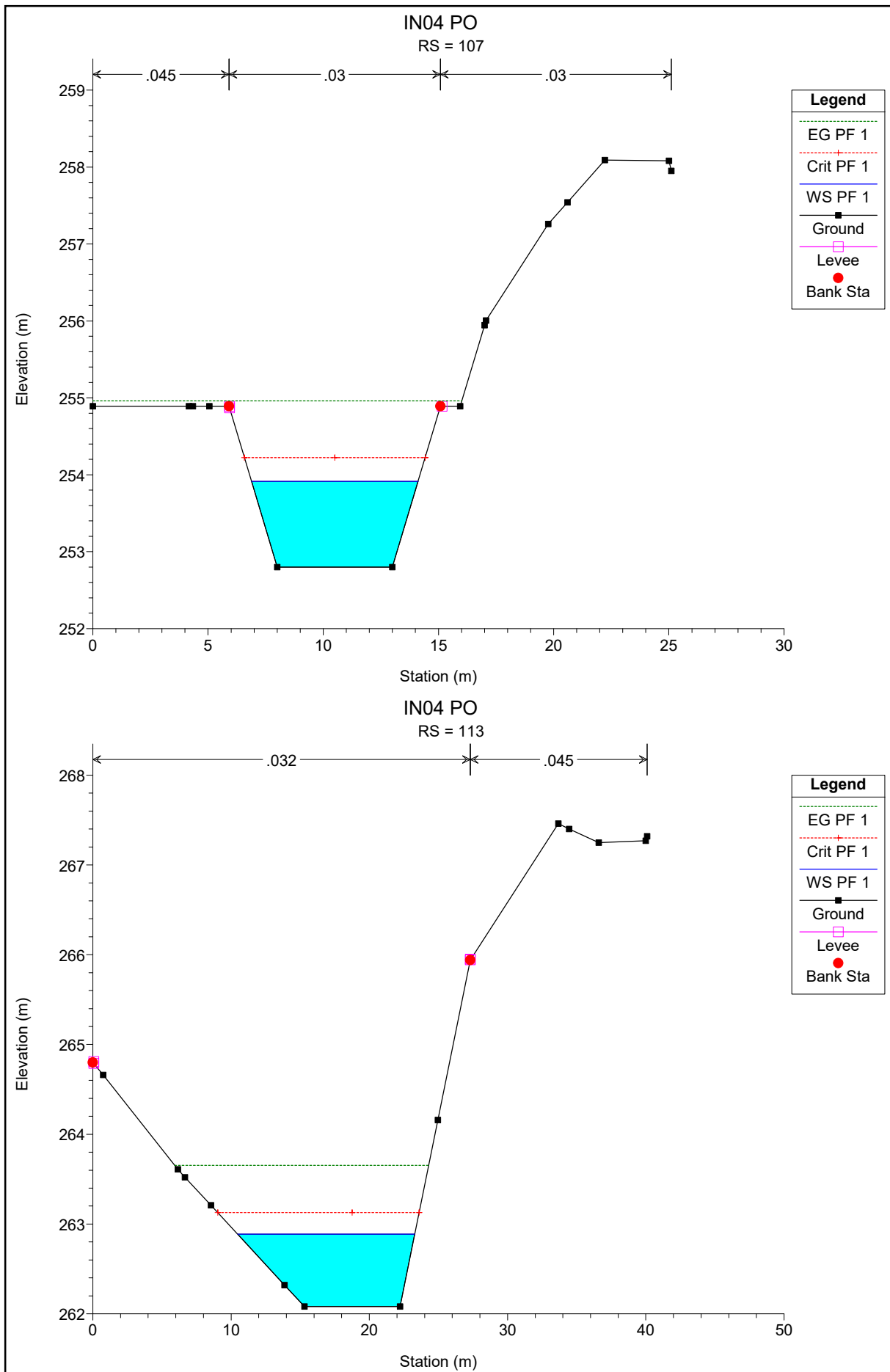


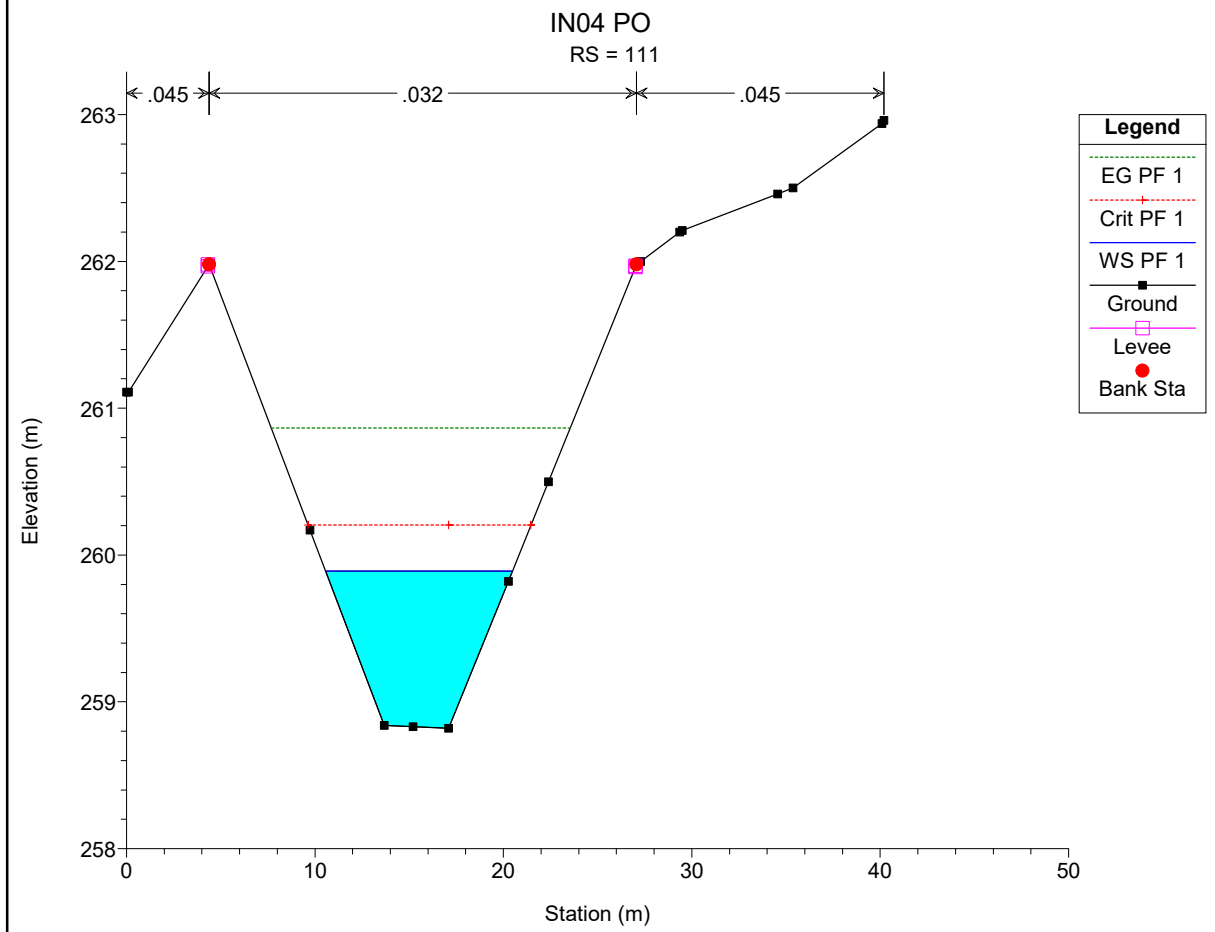
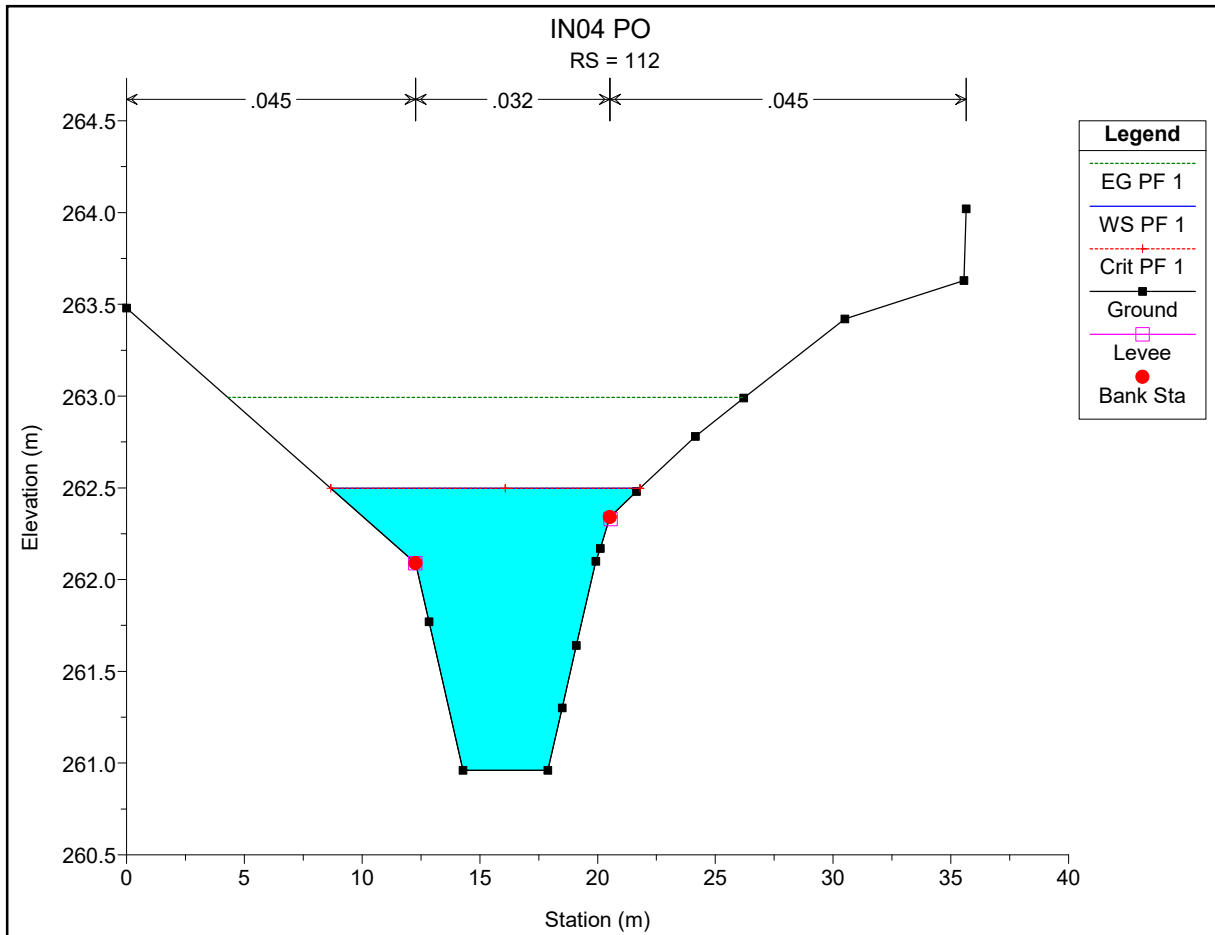
IN04 AO Plan: Plan 06 19/11/2021

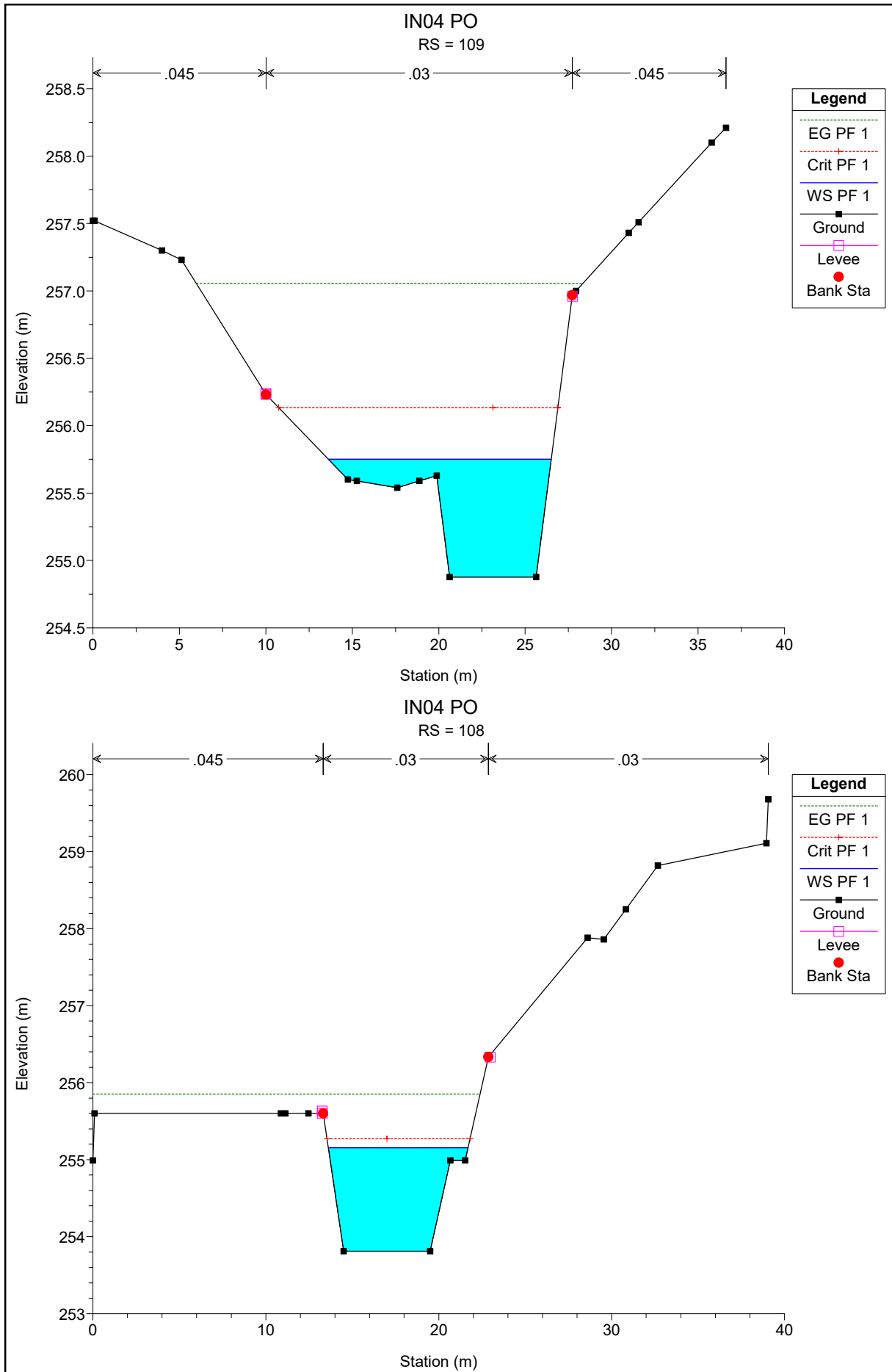
RS = 102

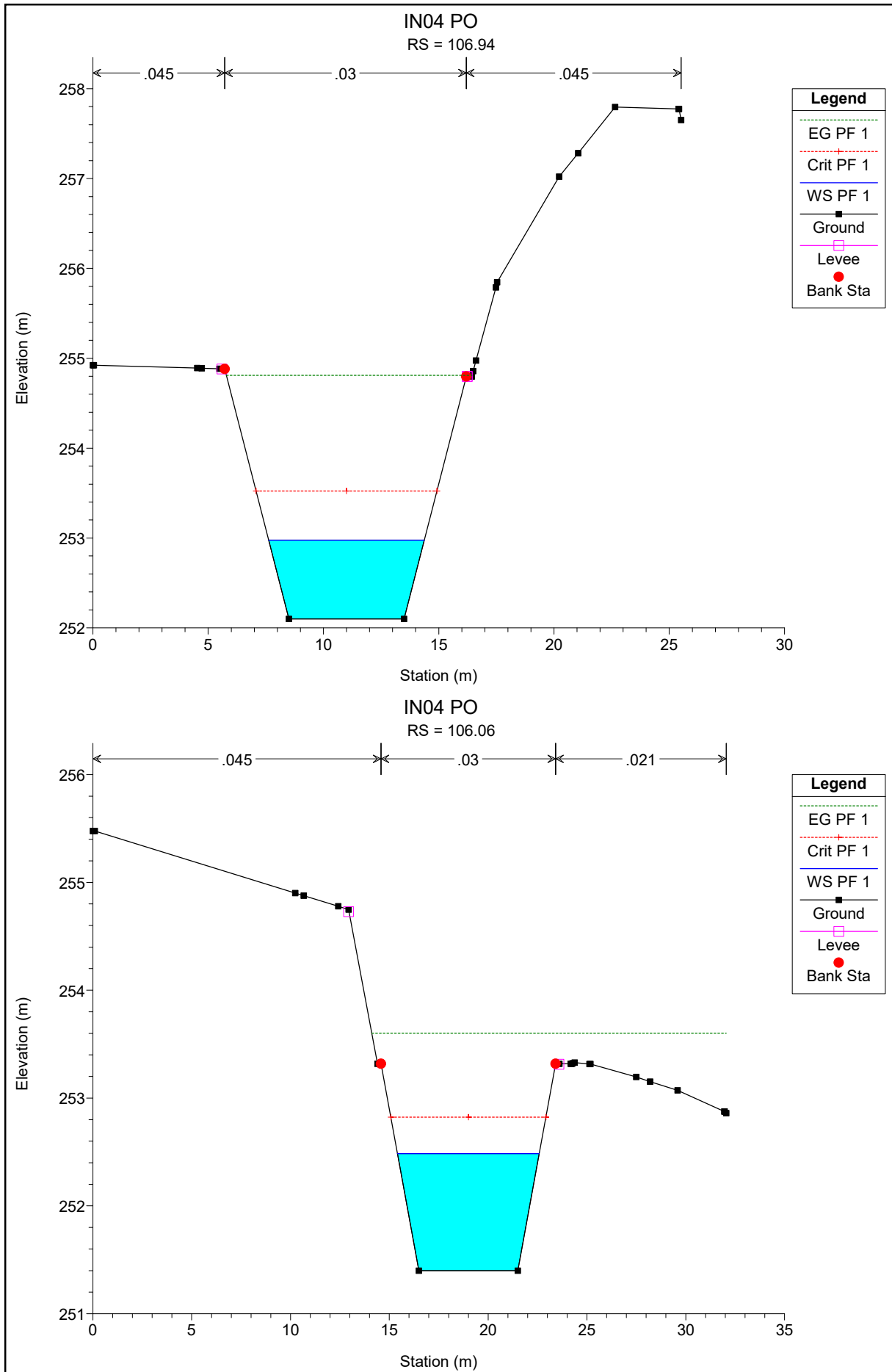


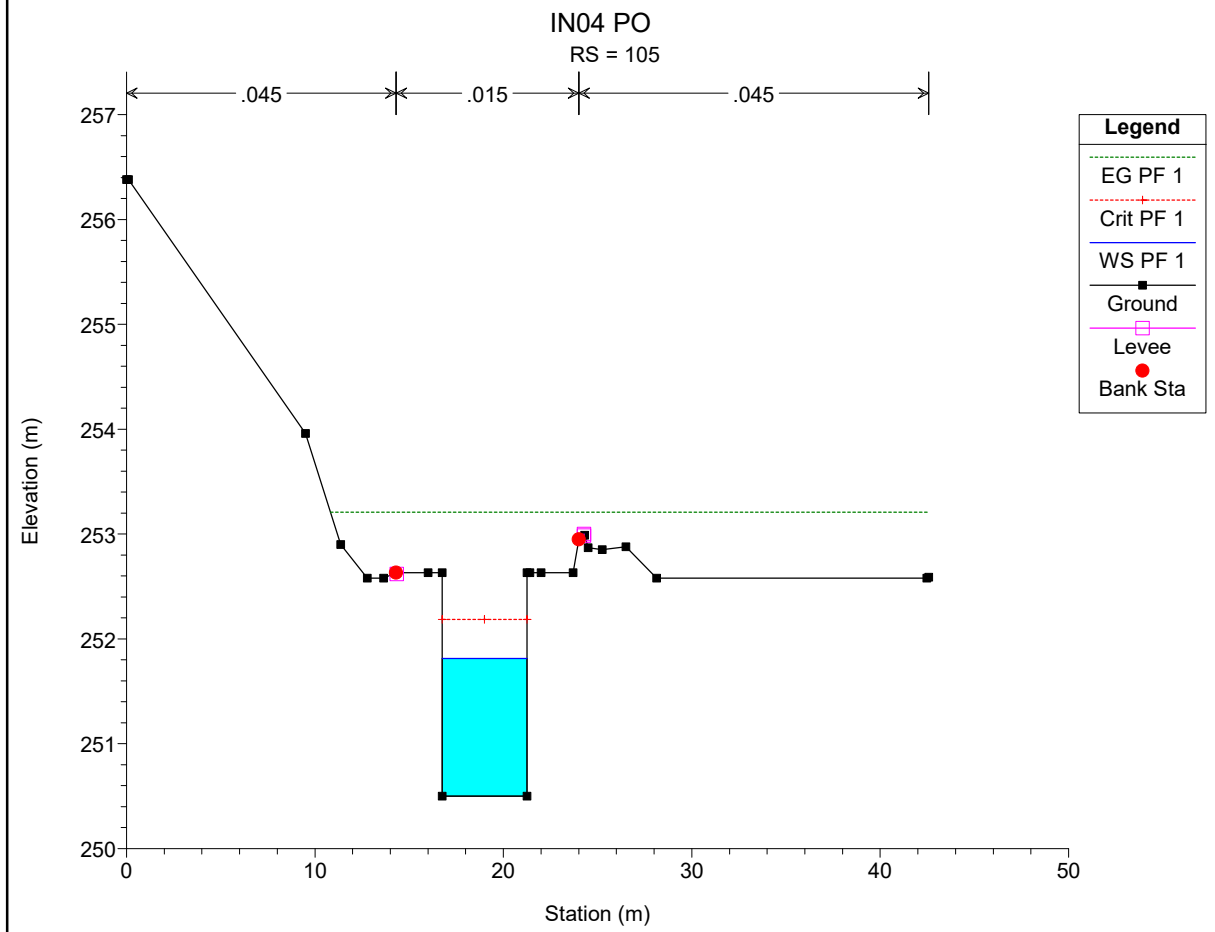
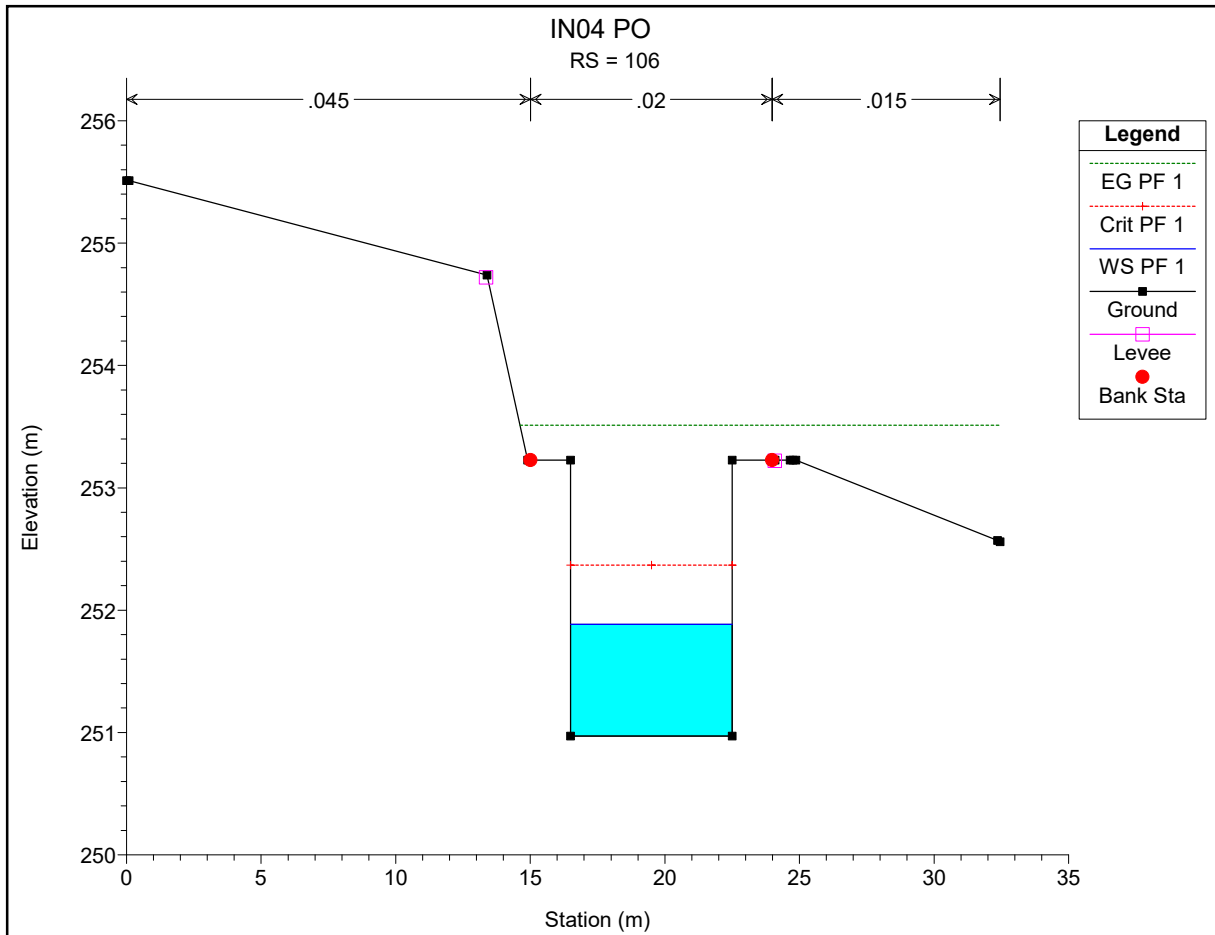


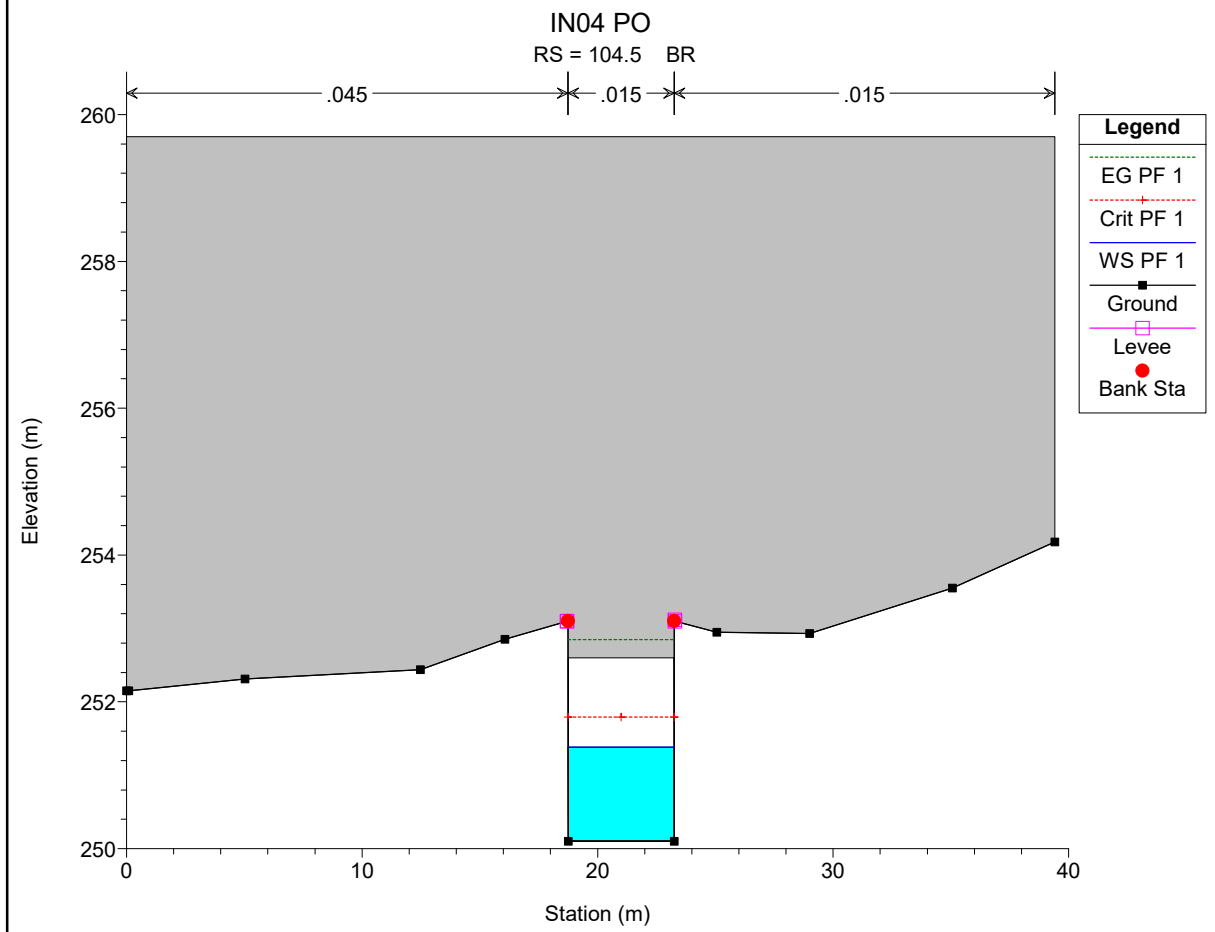
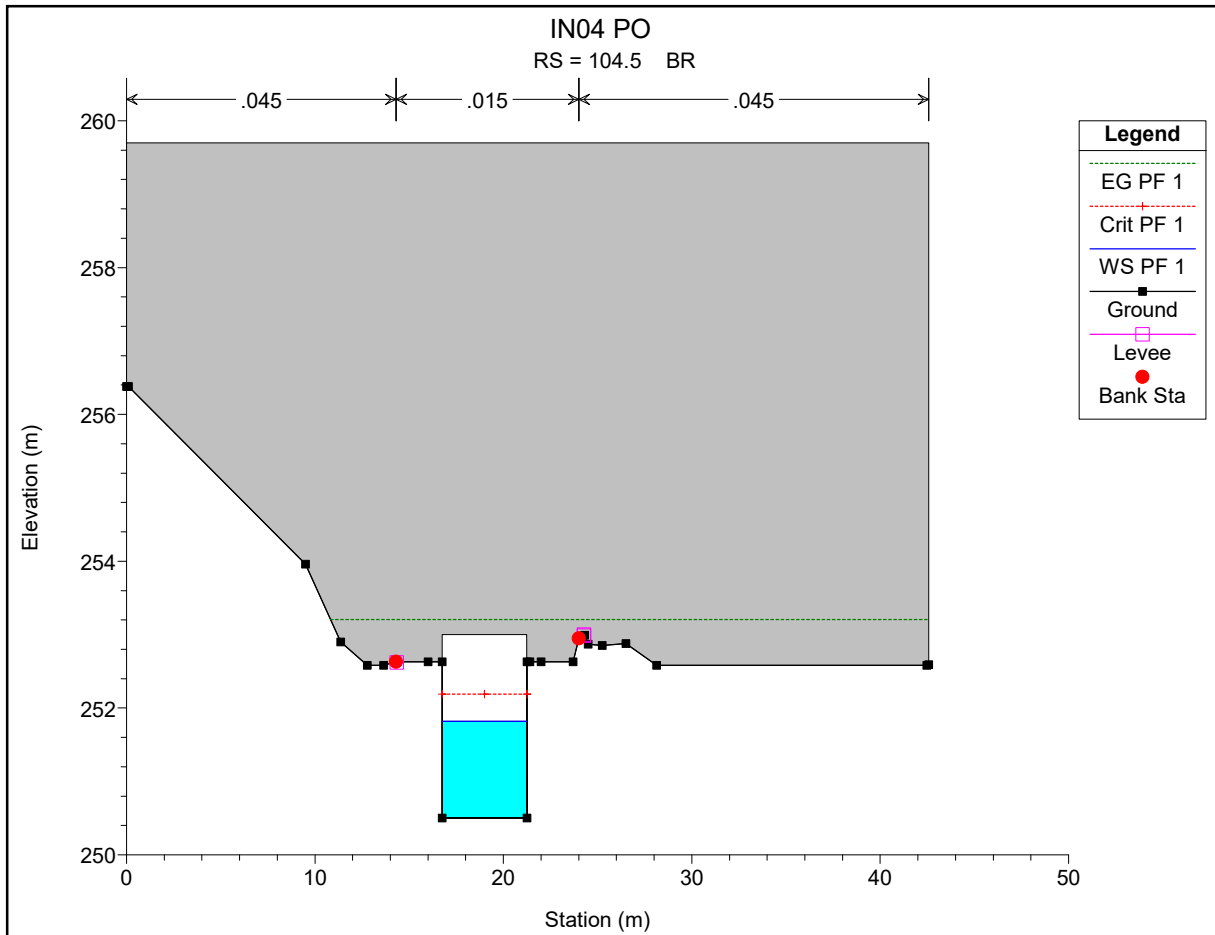


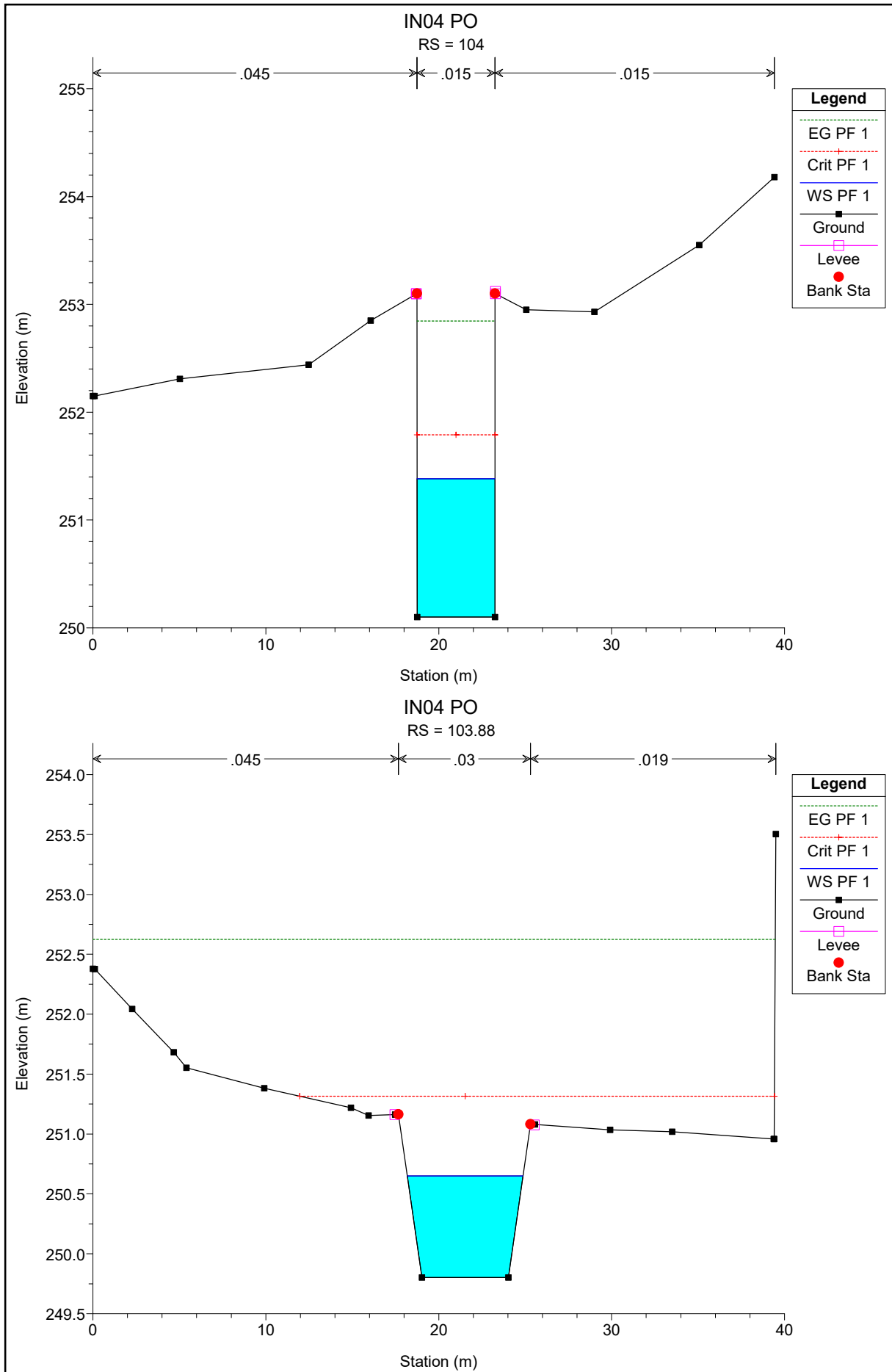


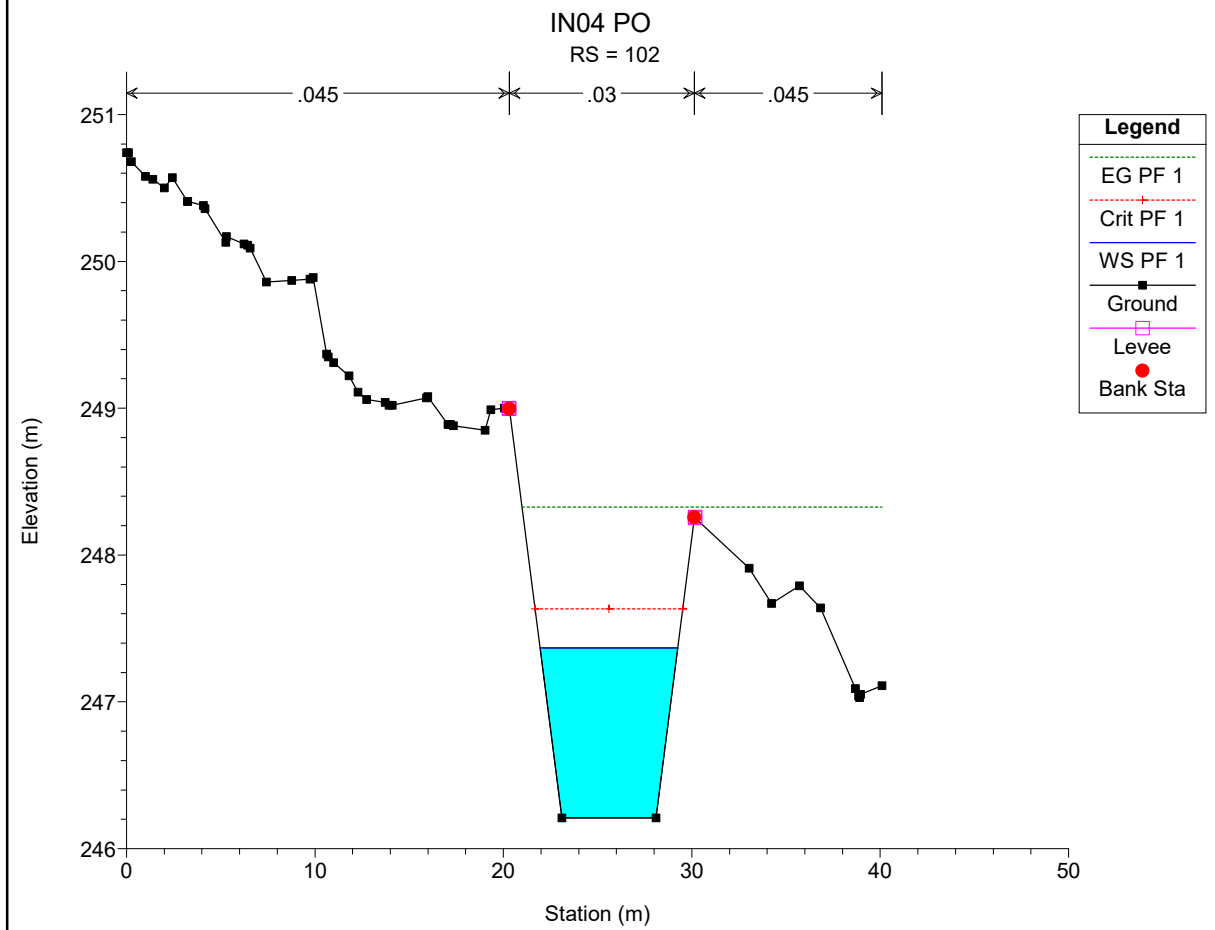
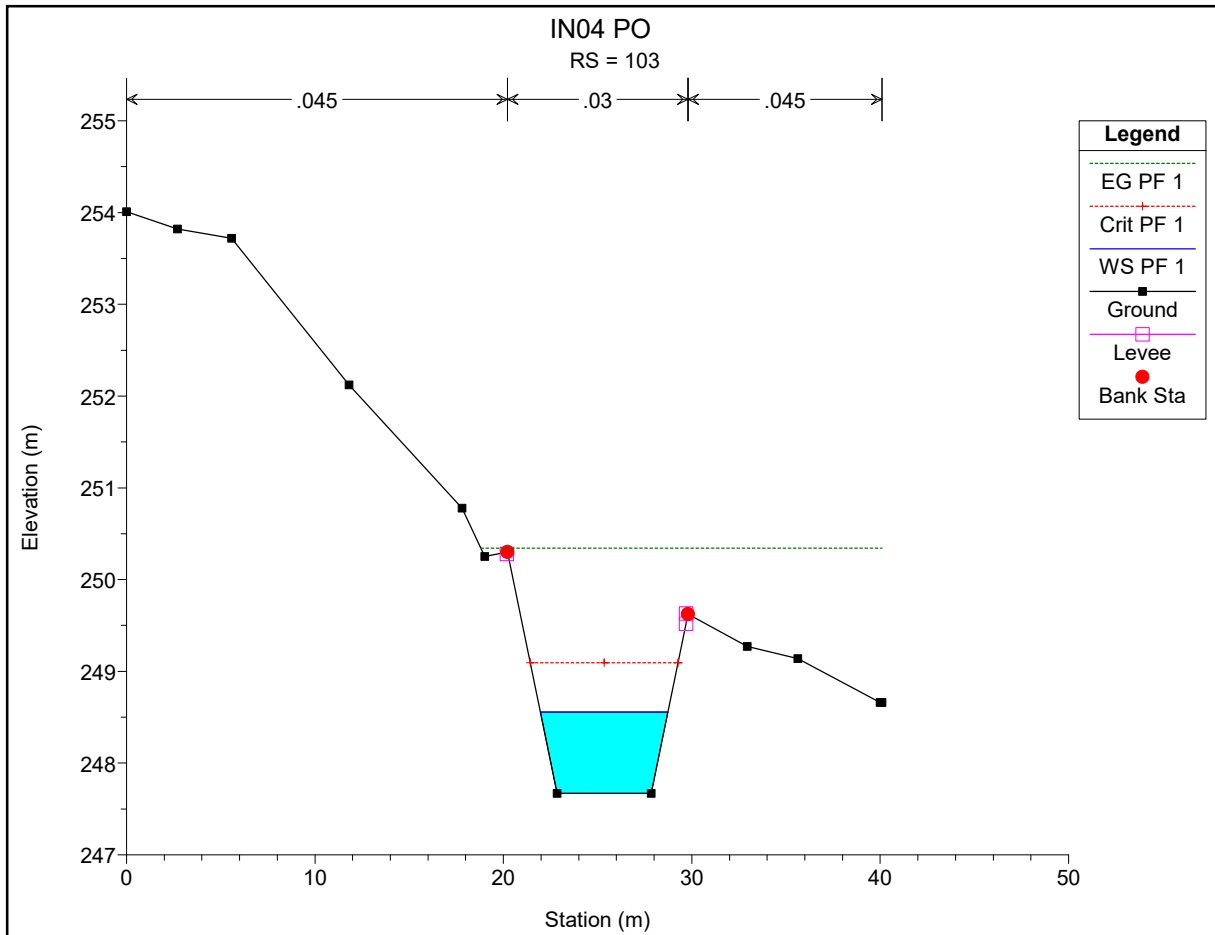


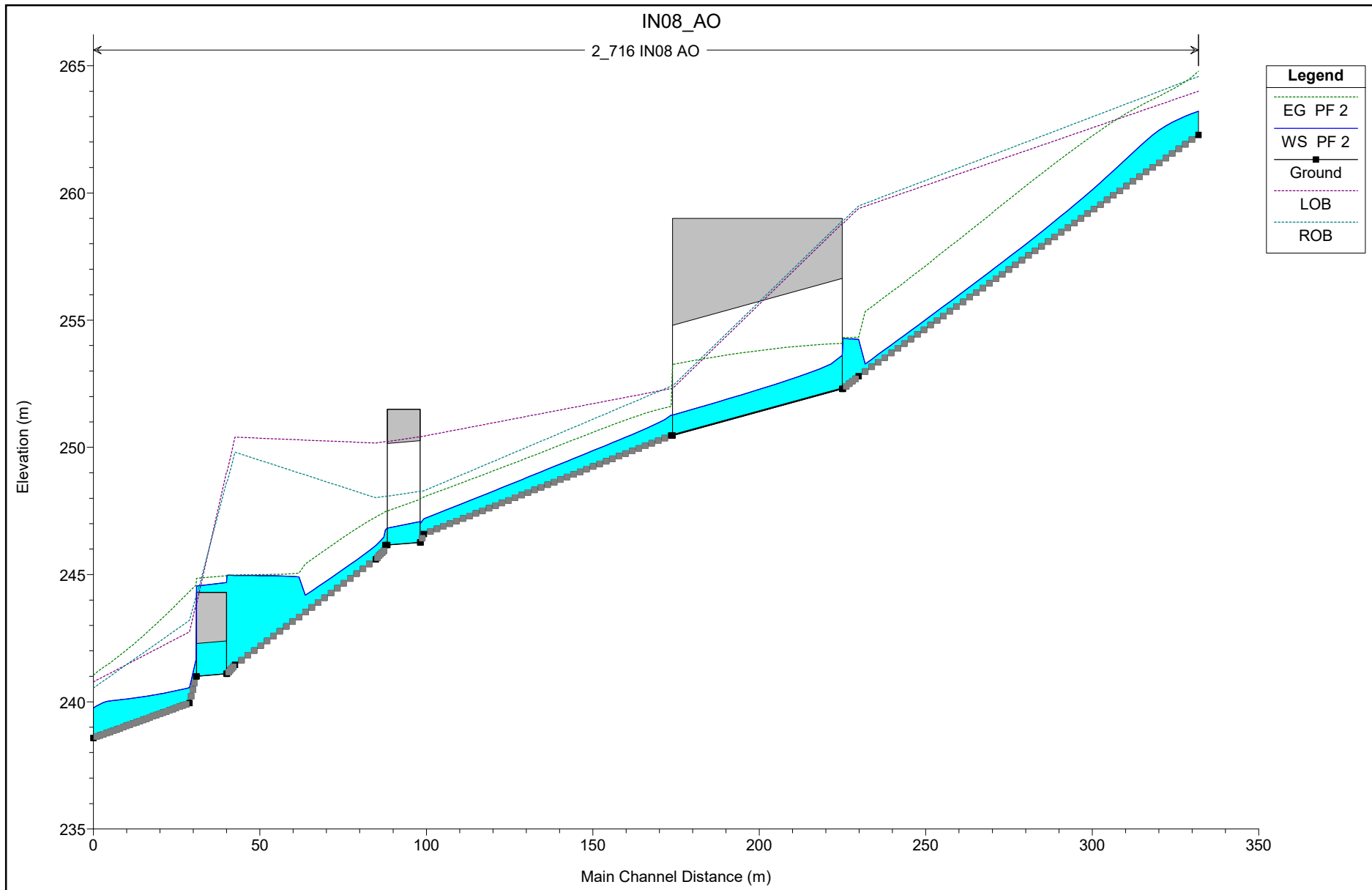


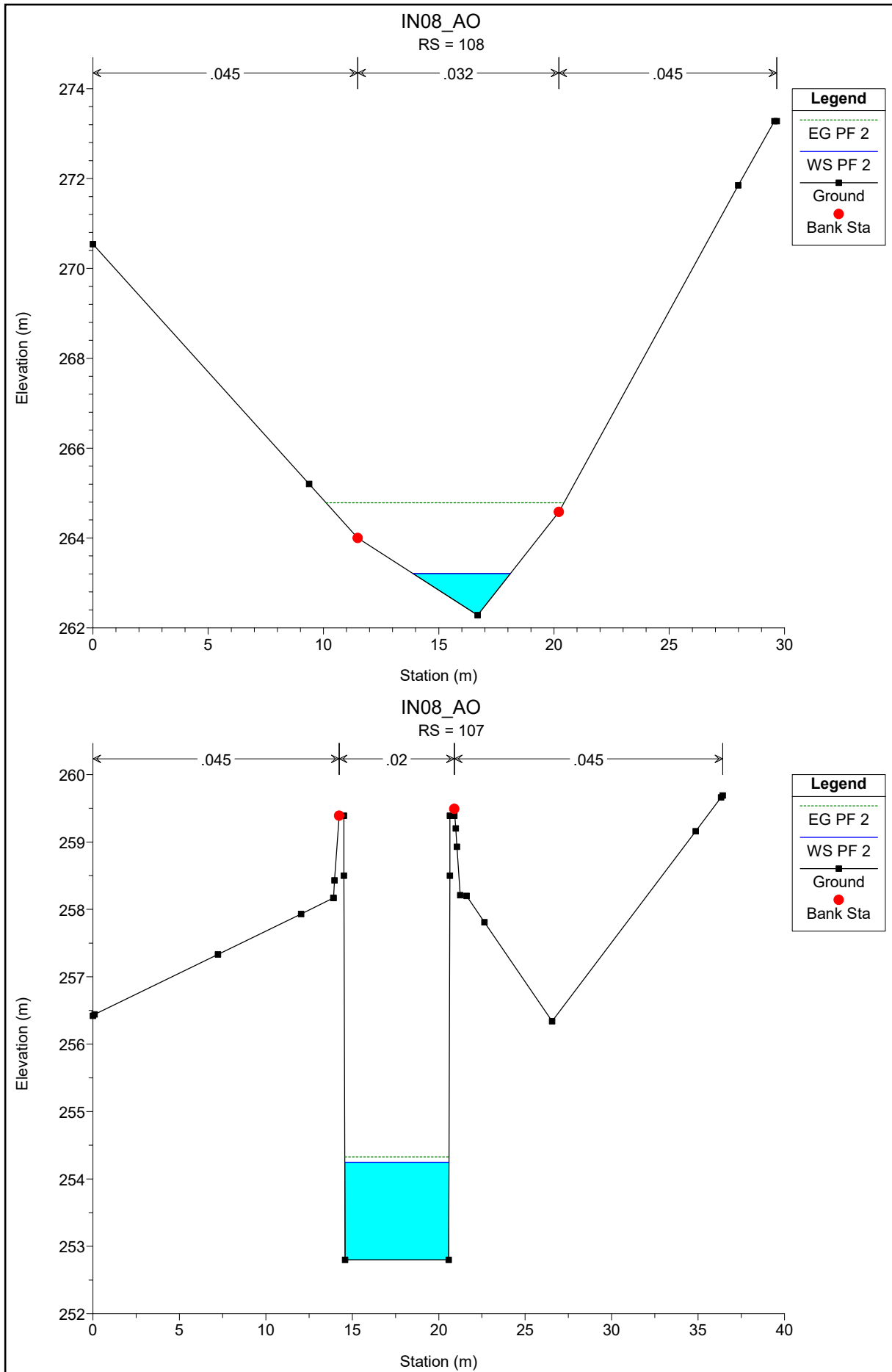


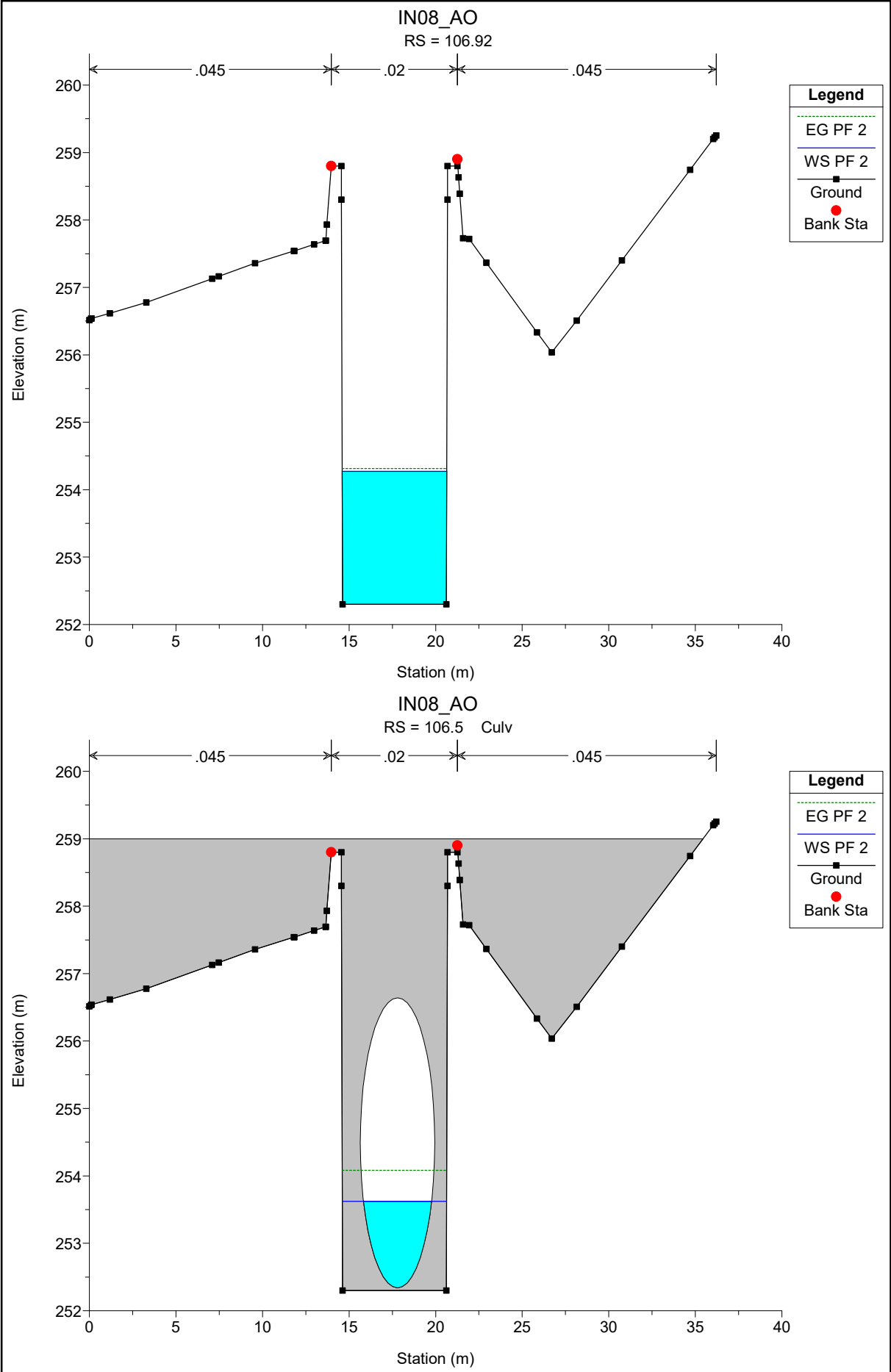


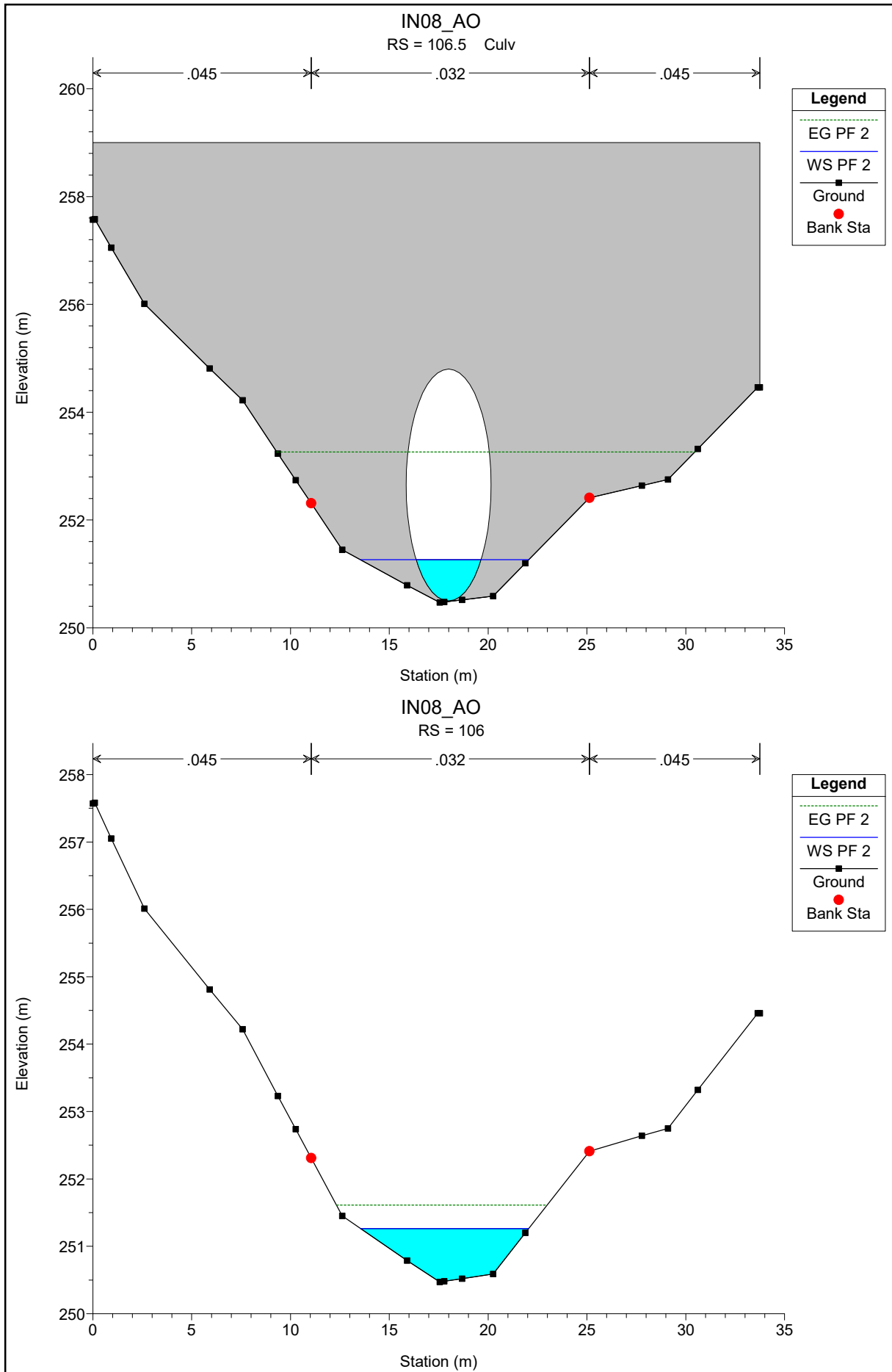


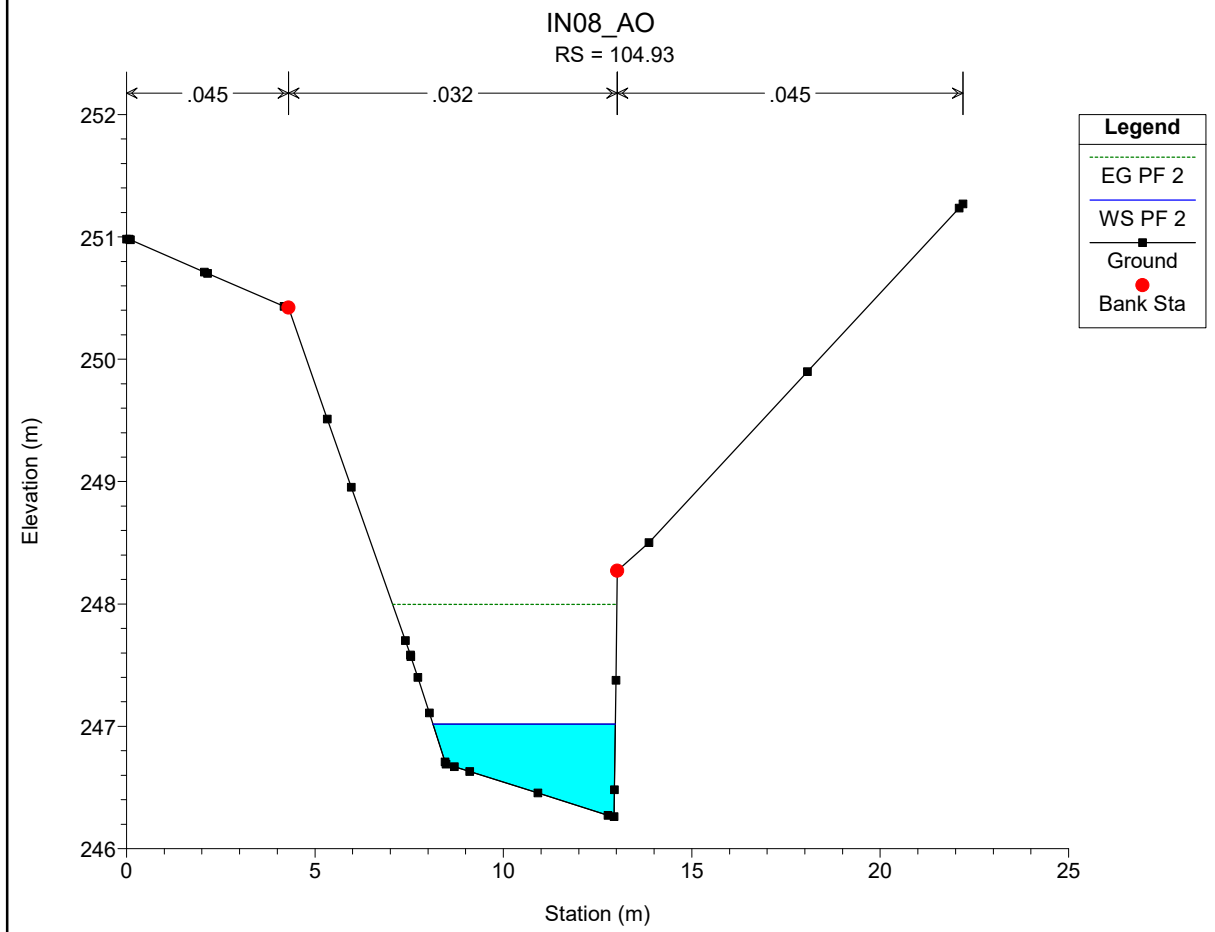
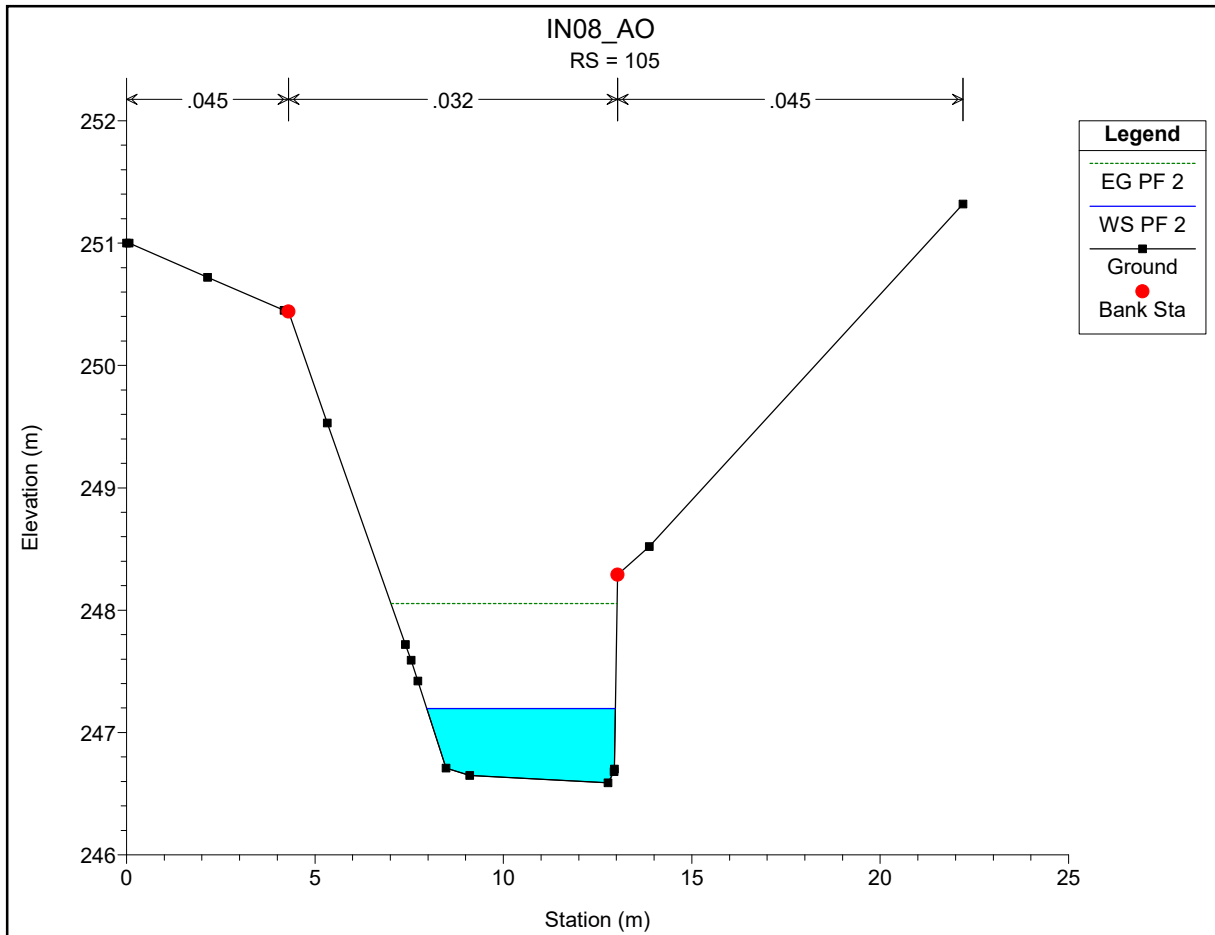


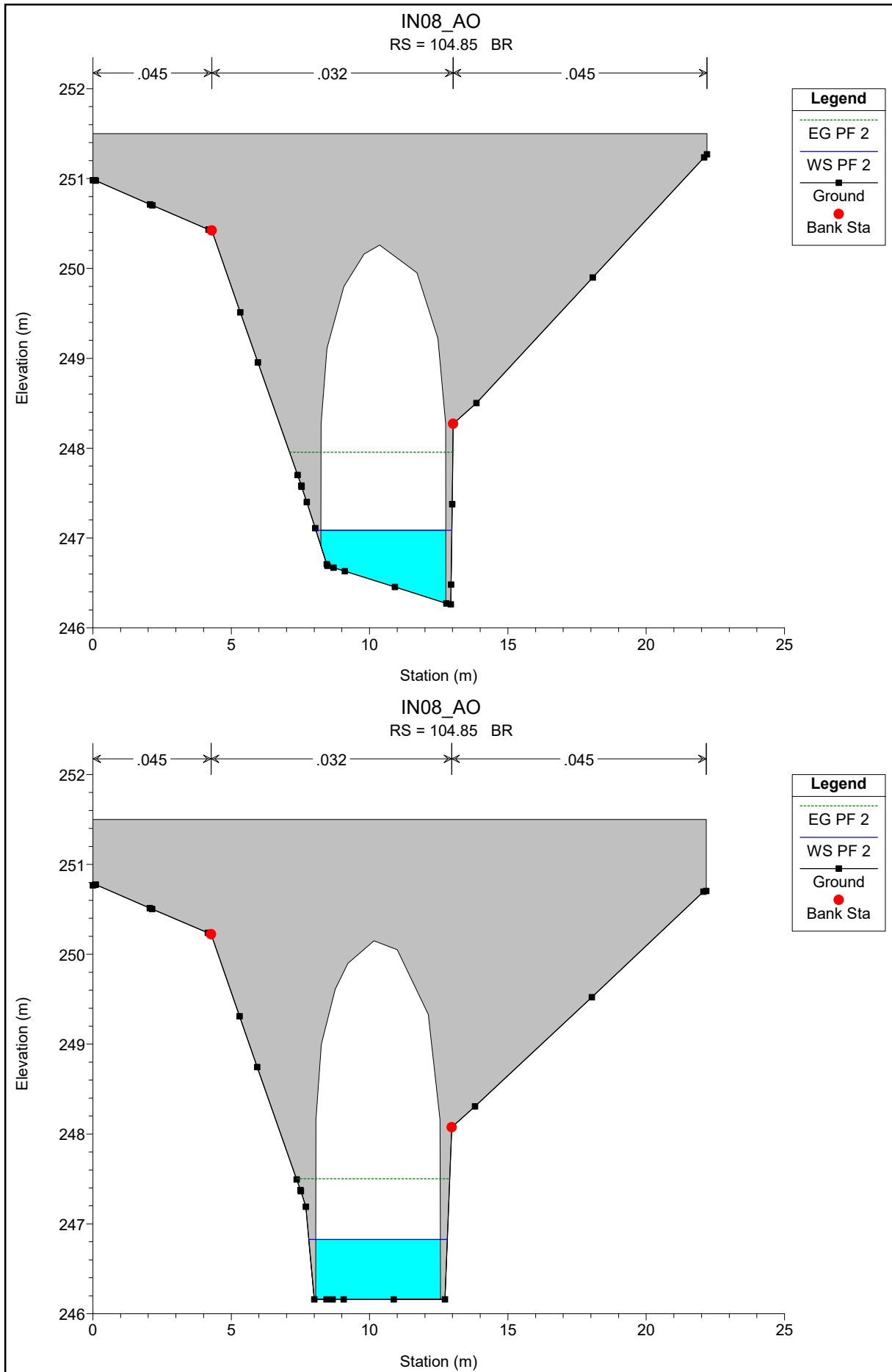


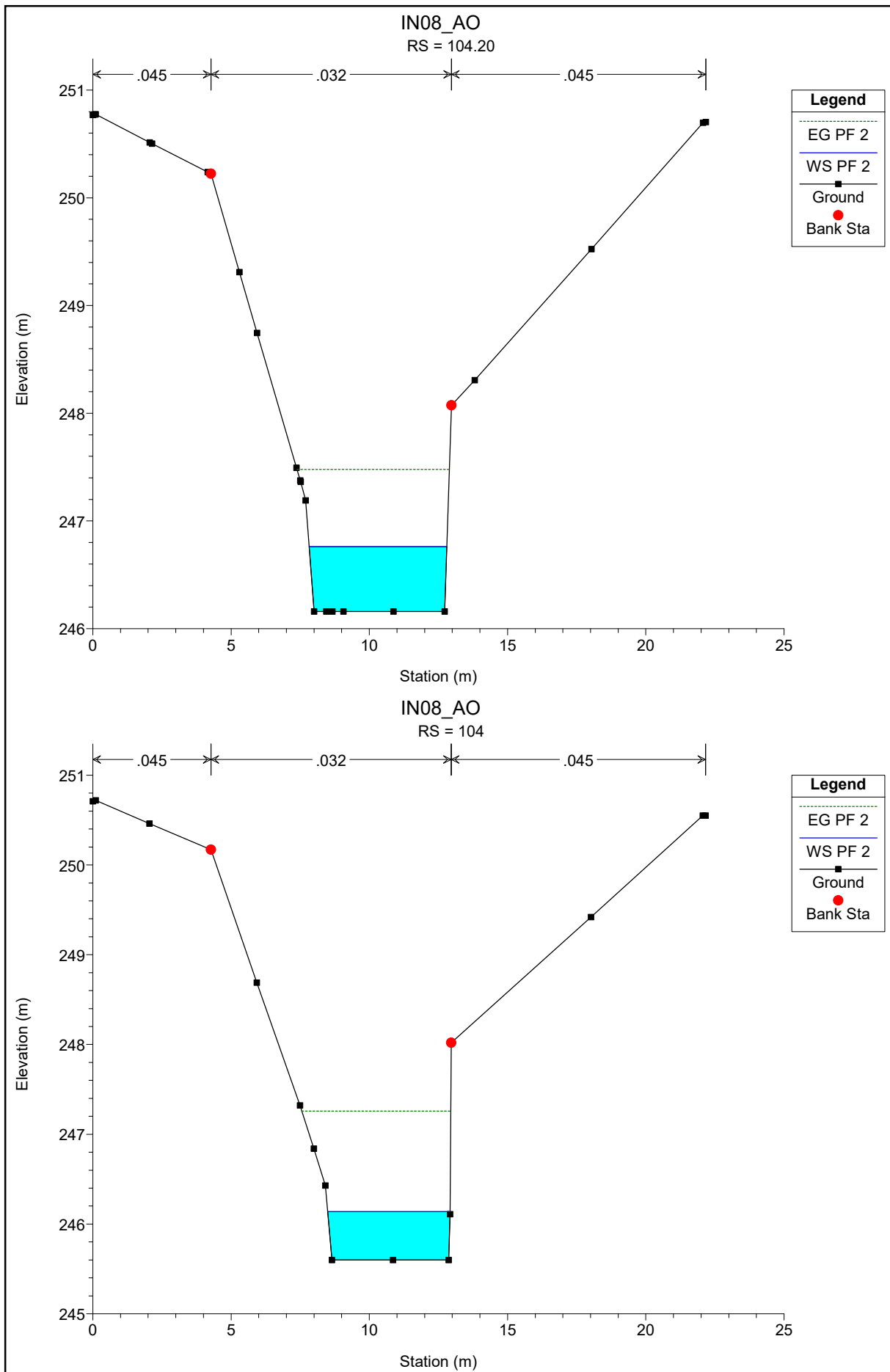


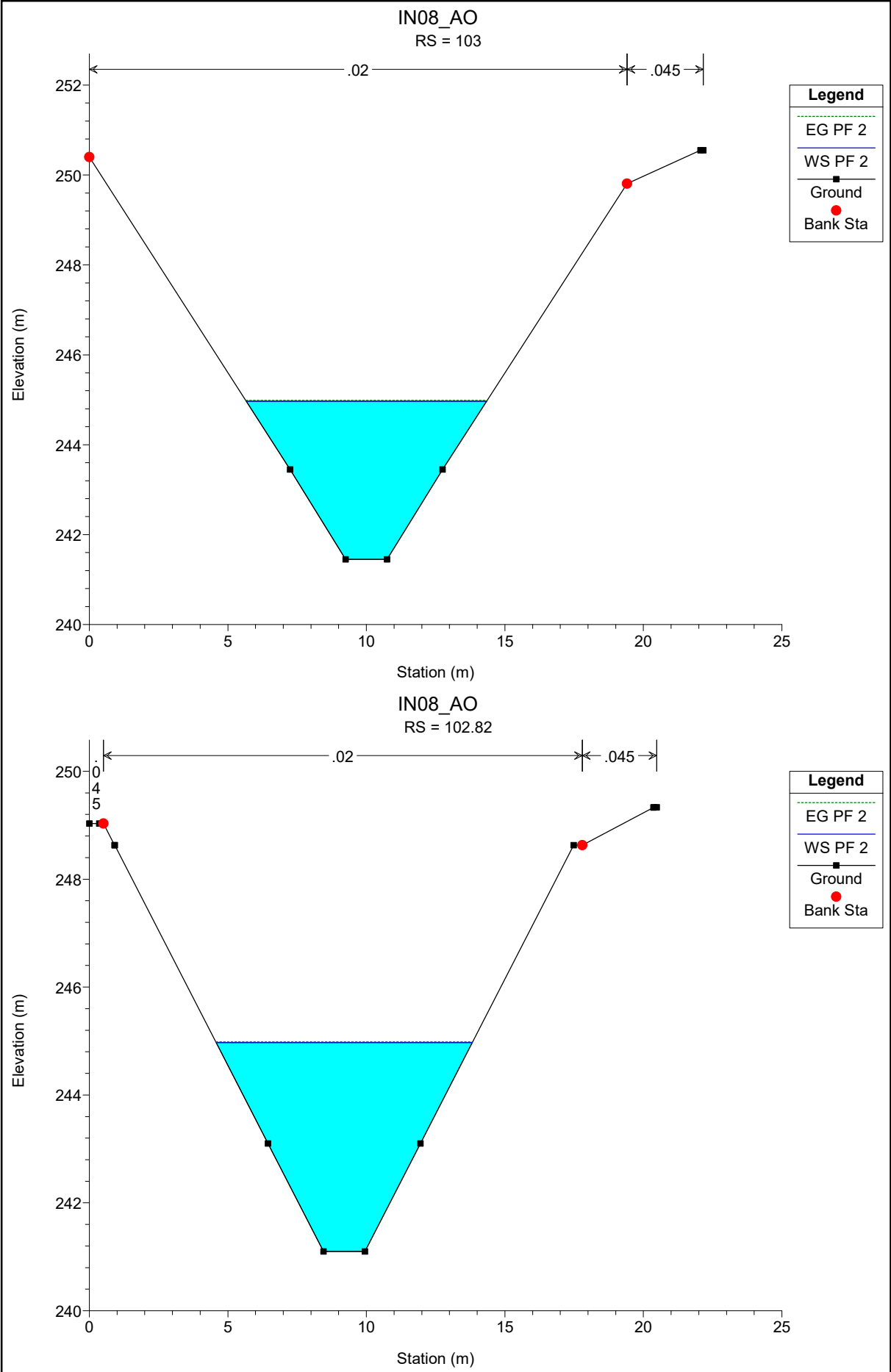


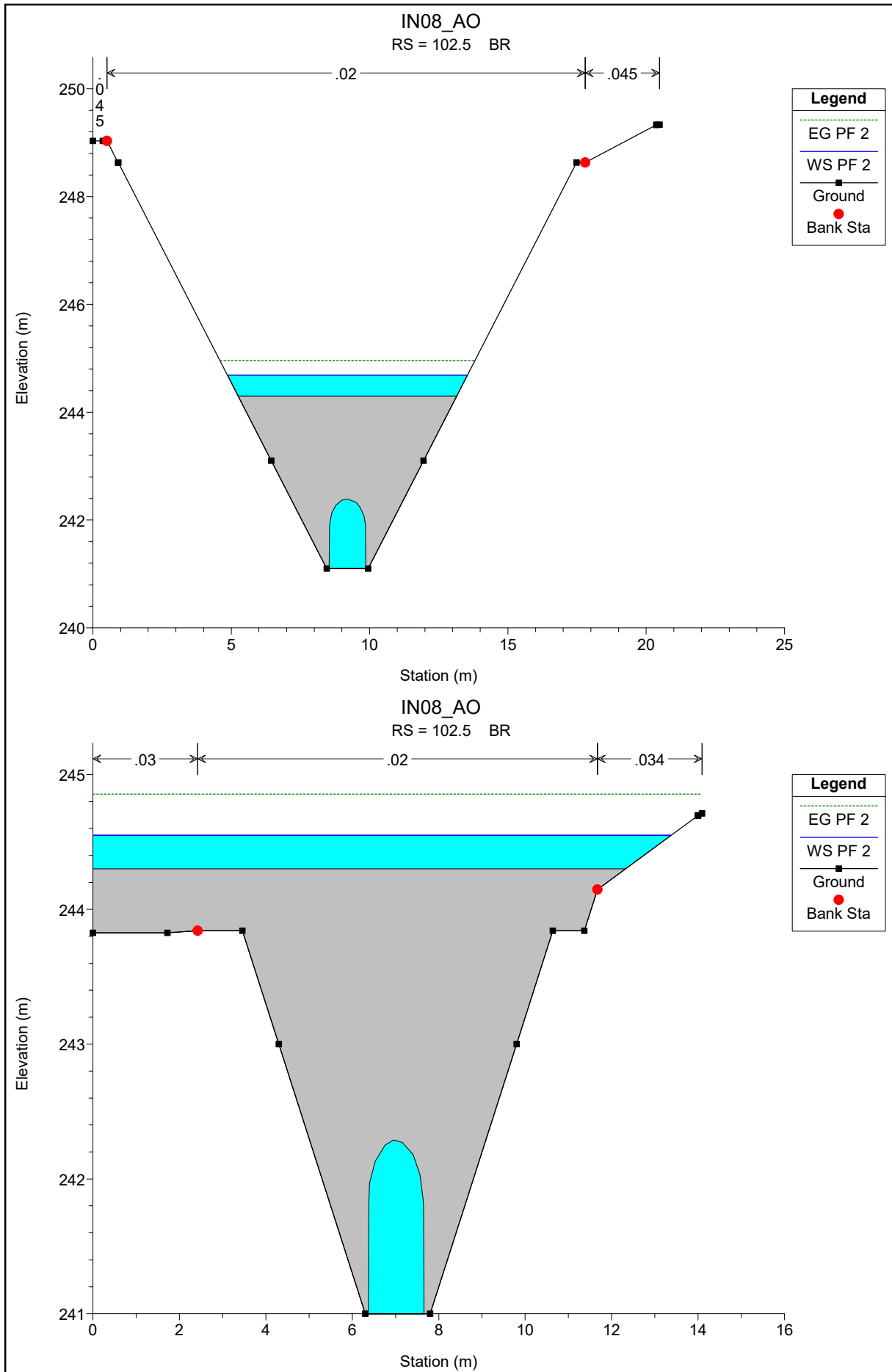


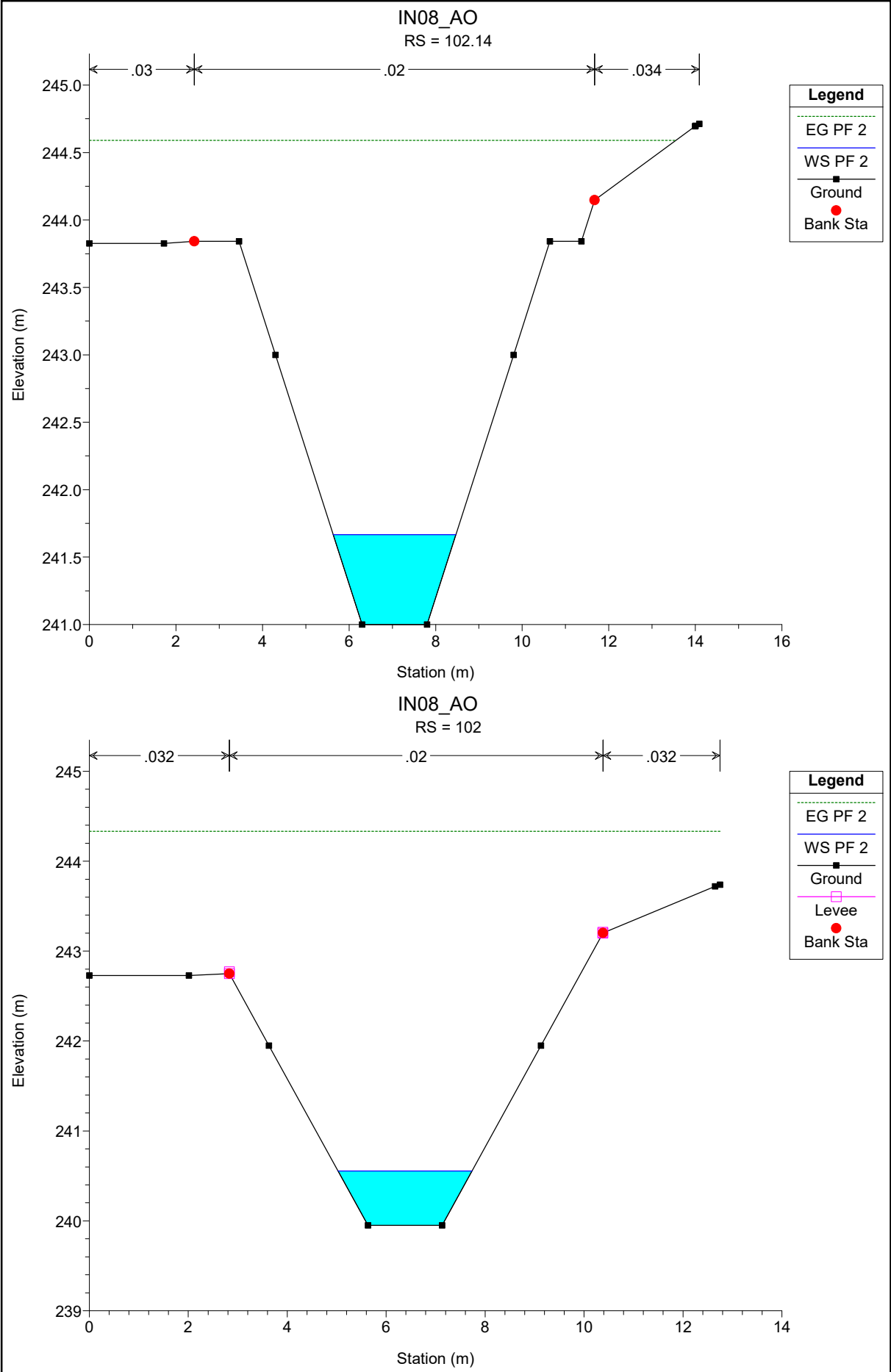


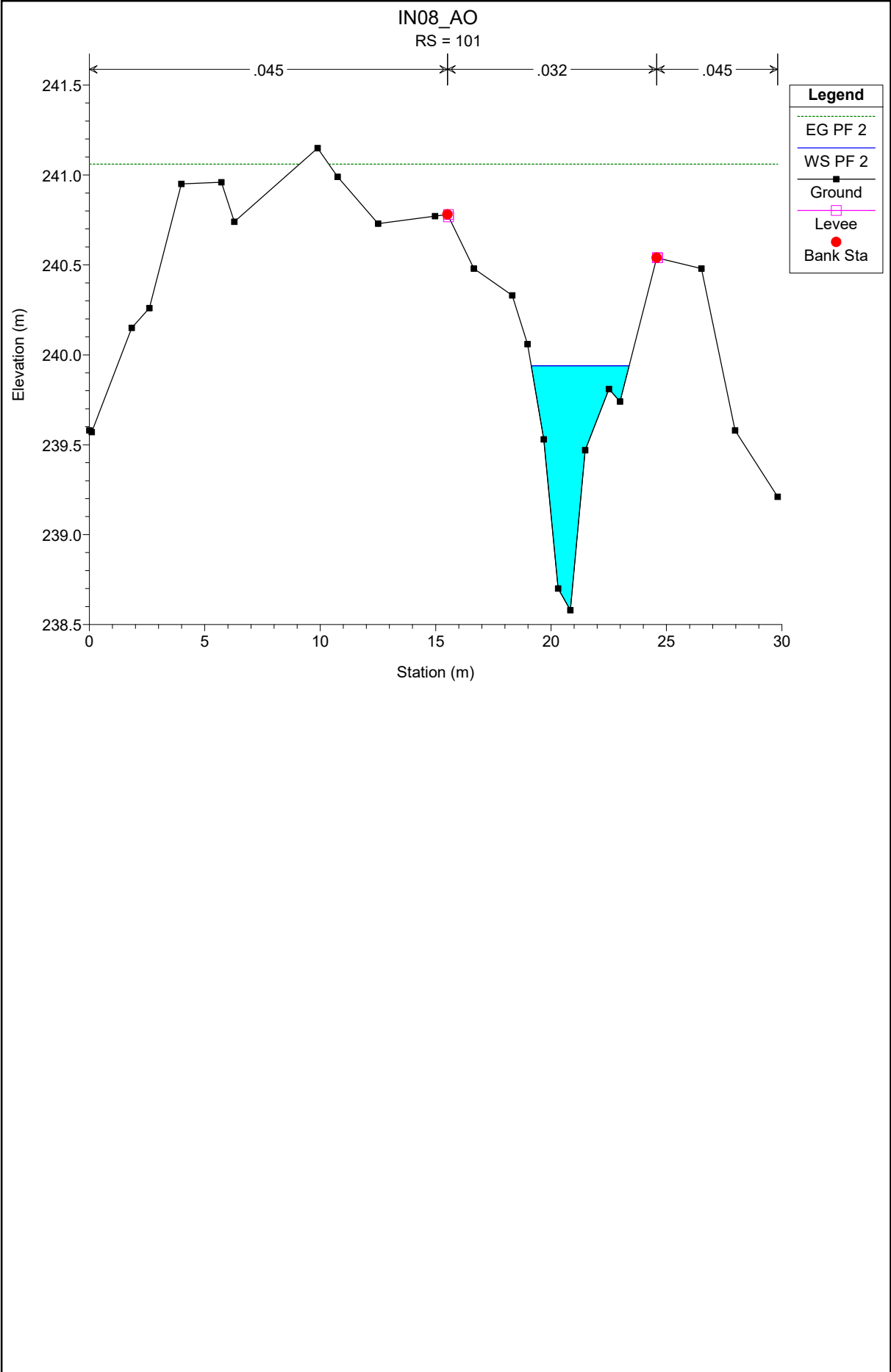






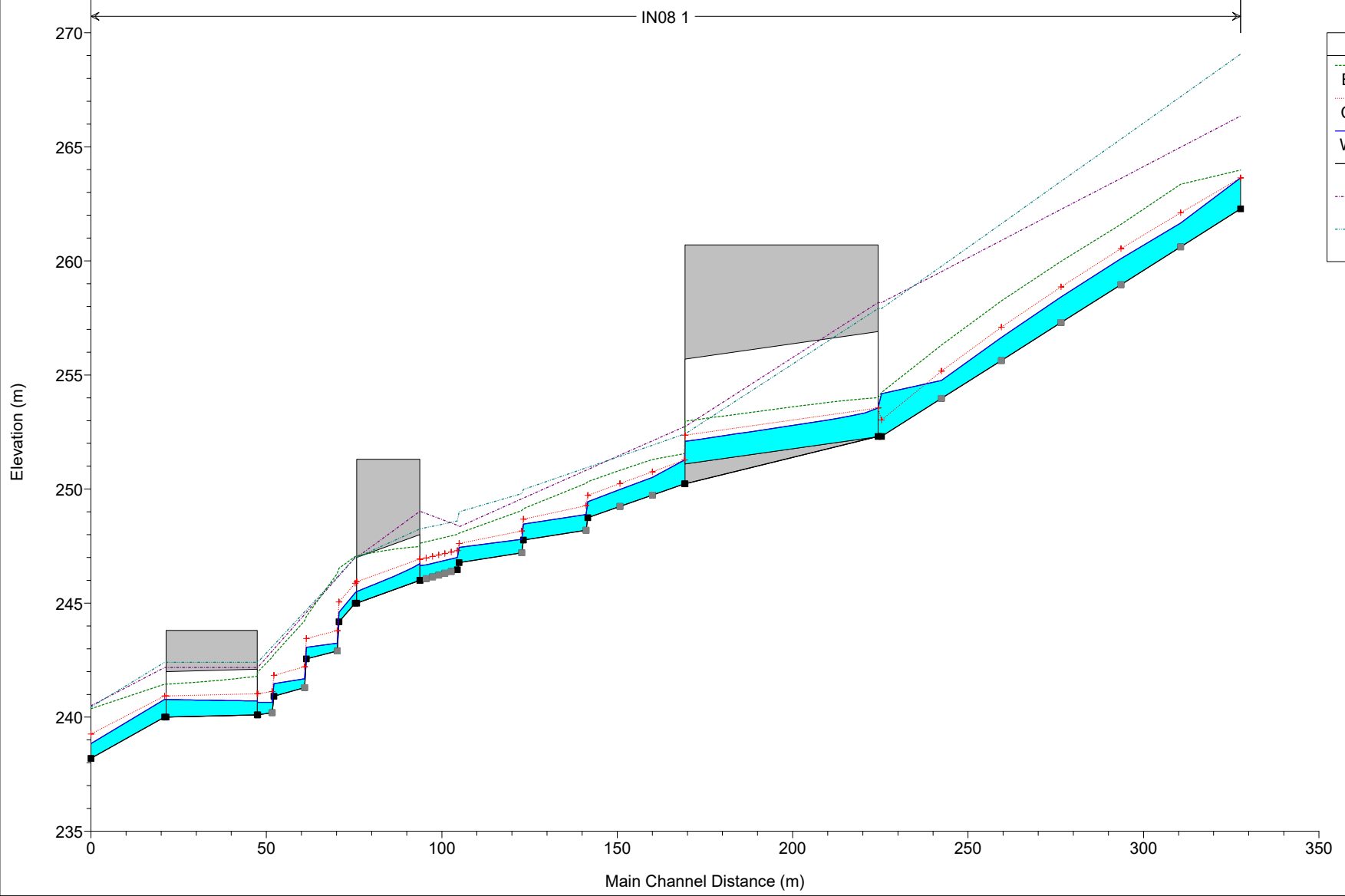




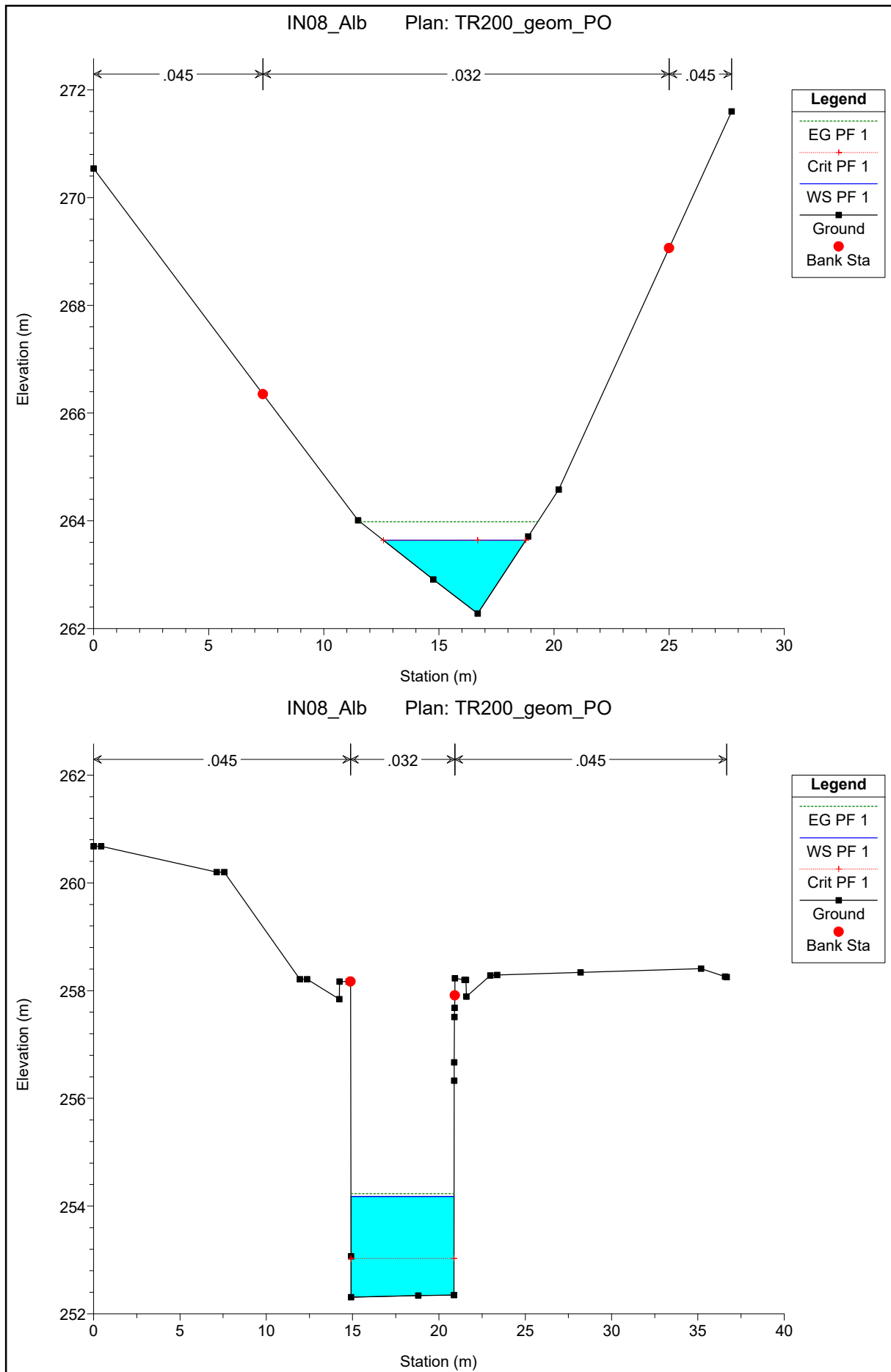


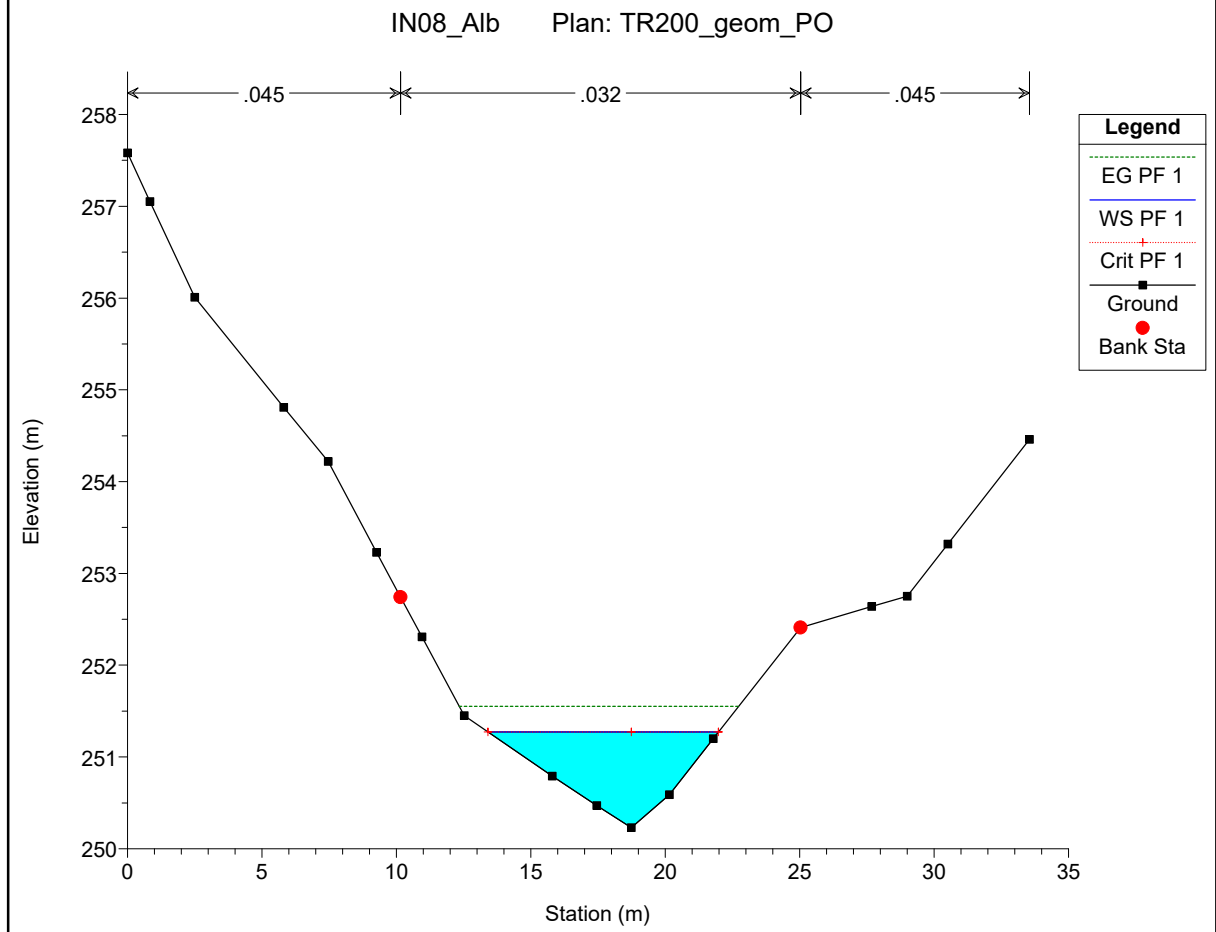
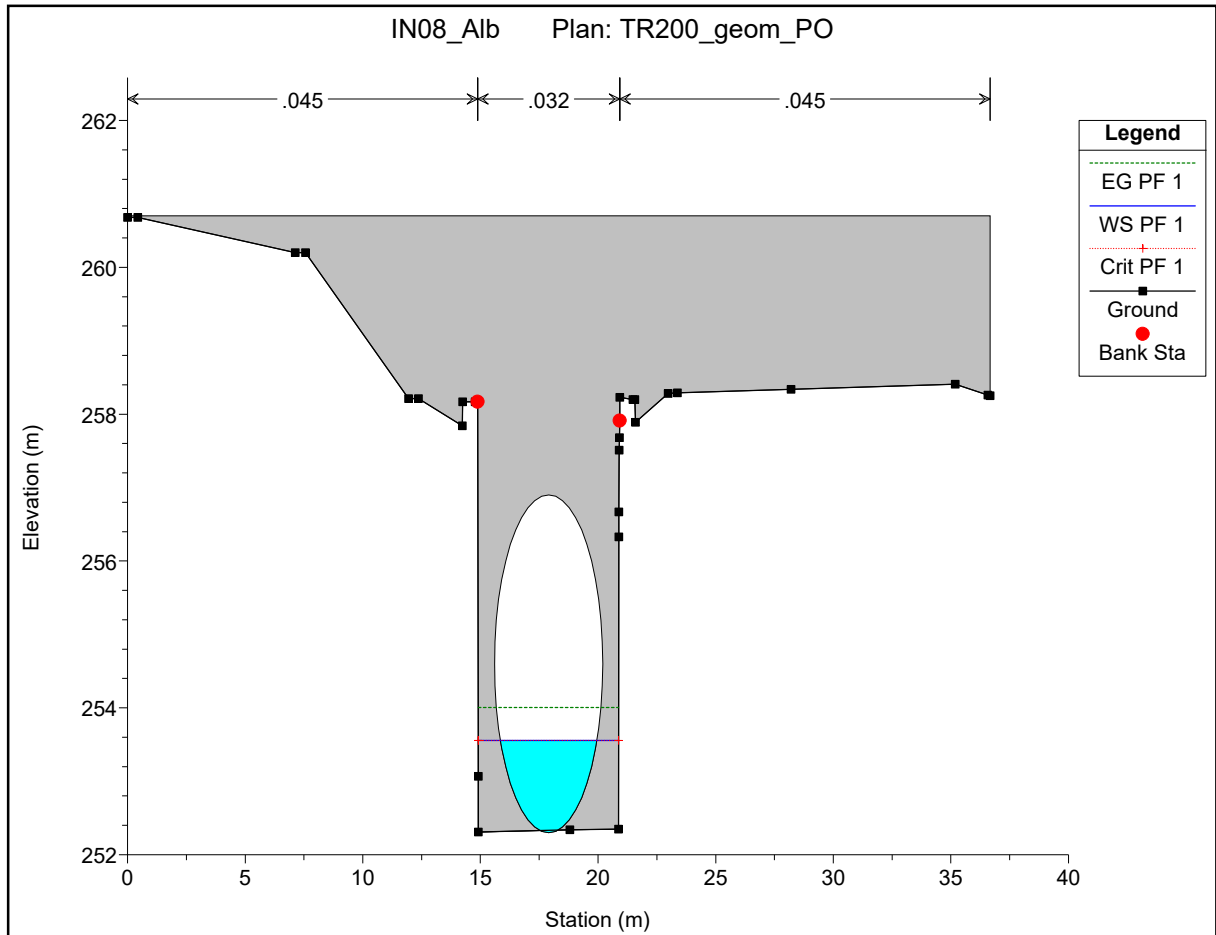
IN08_Alb Plan: TR200_geom_PO

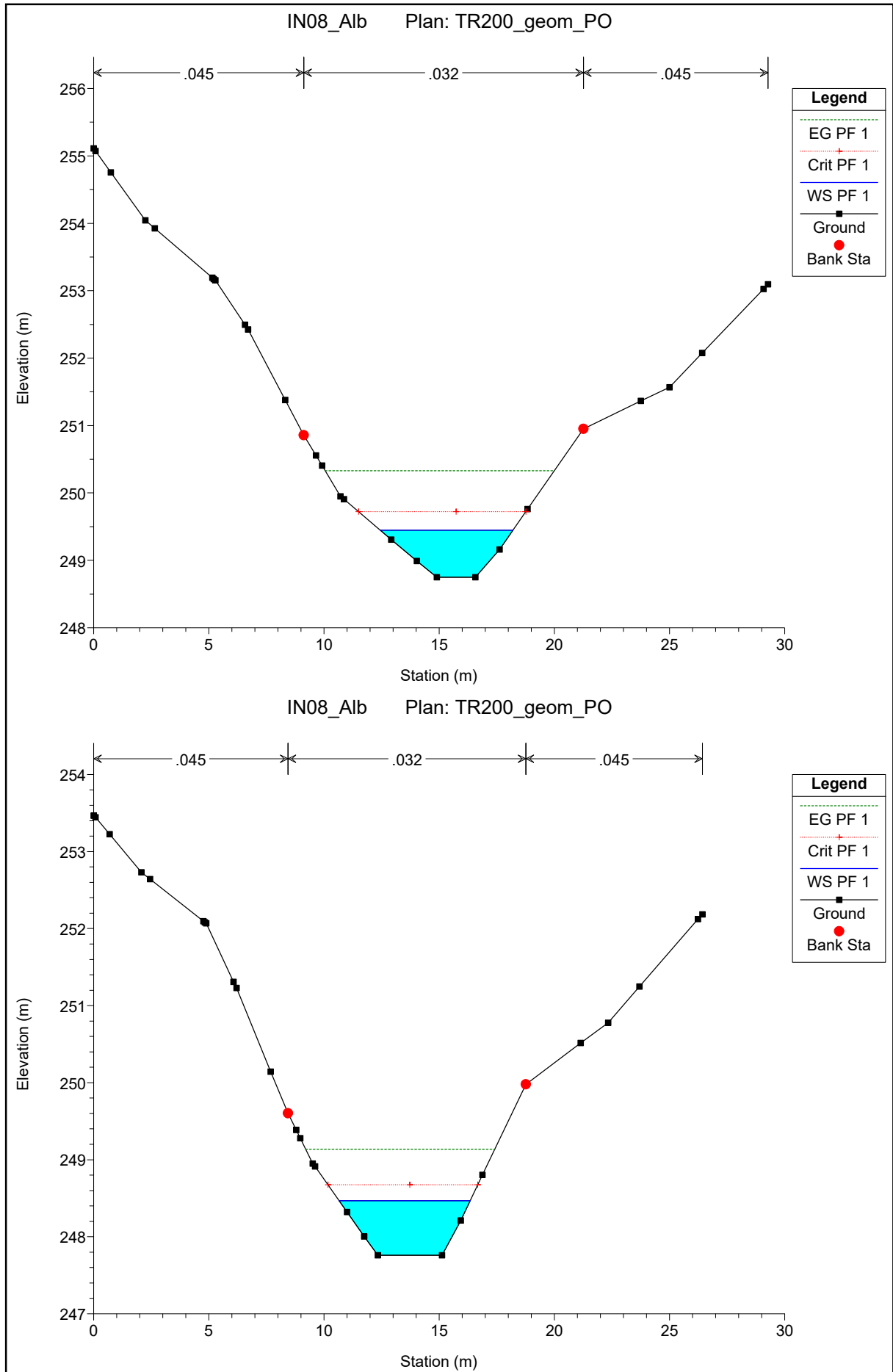
IN08 1

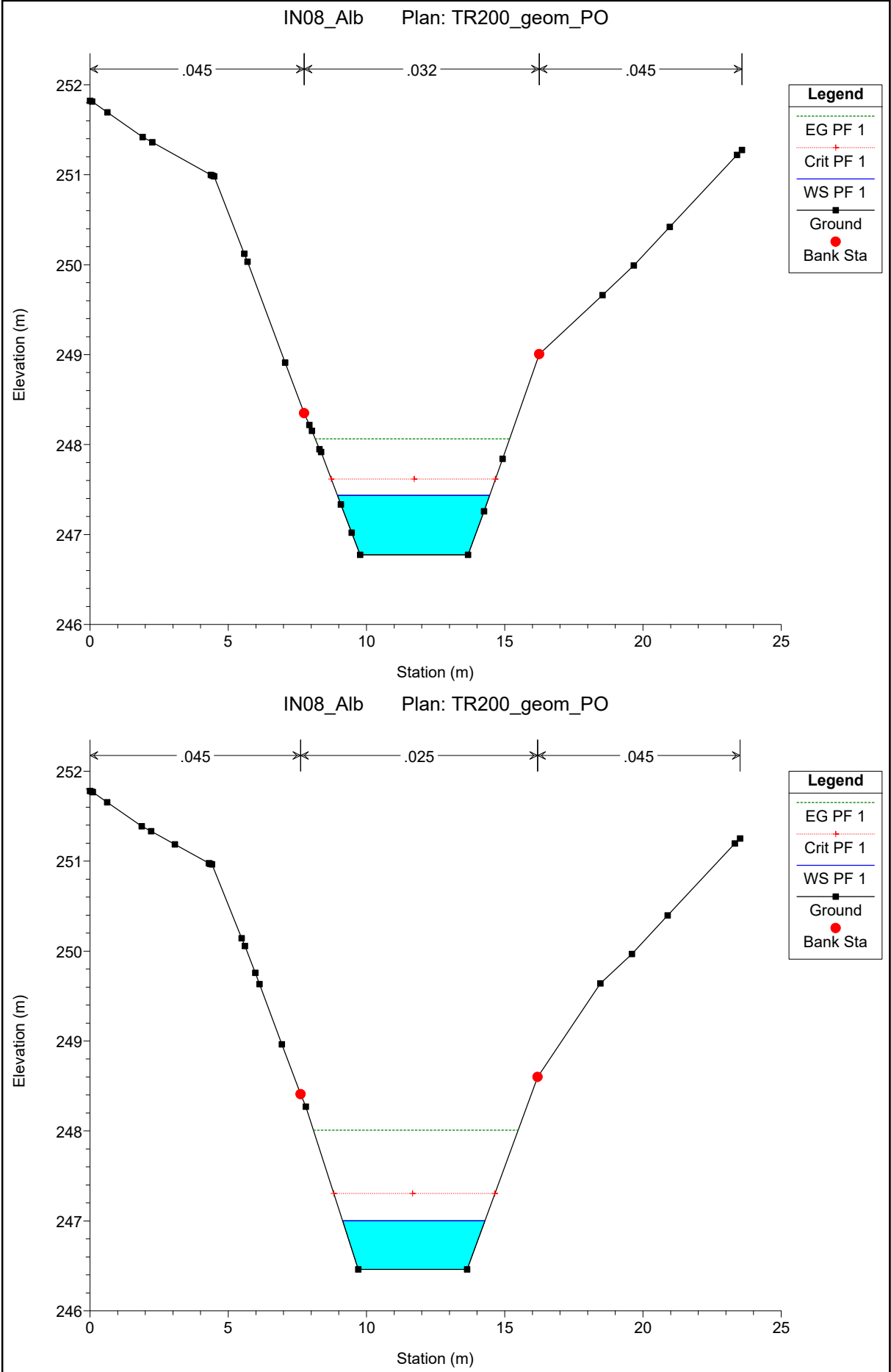


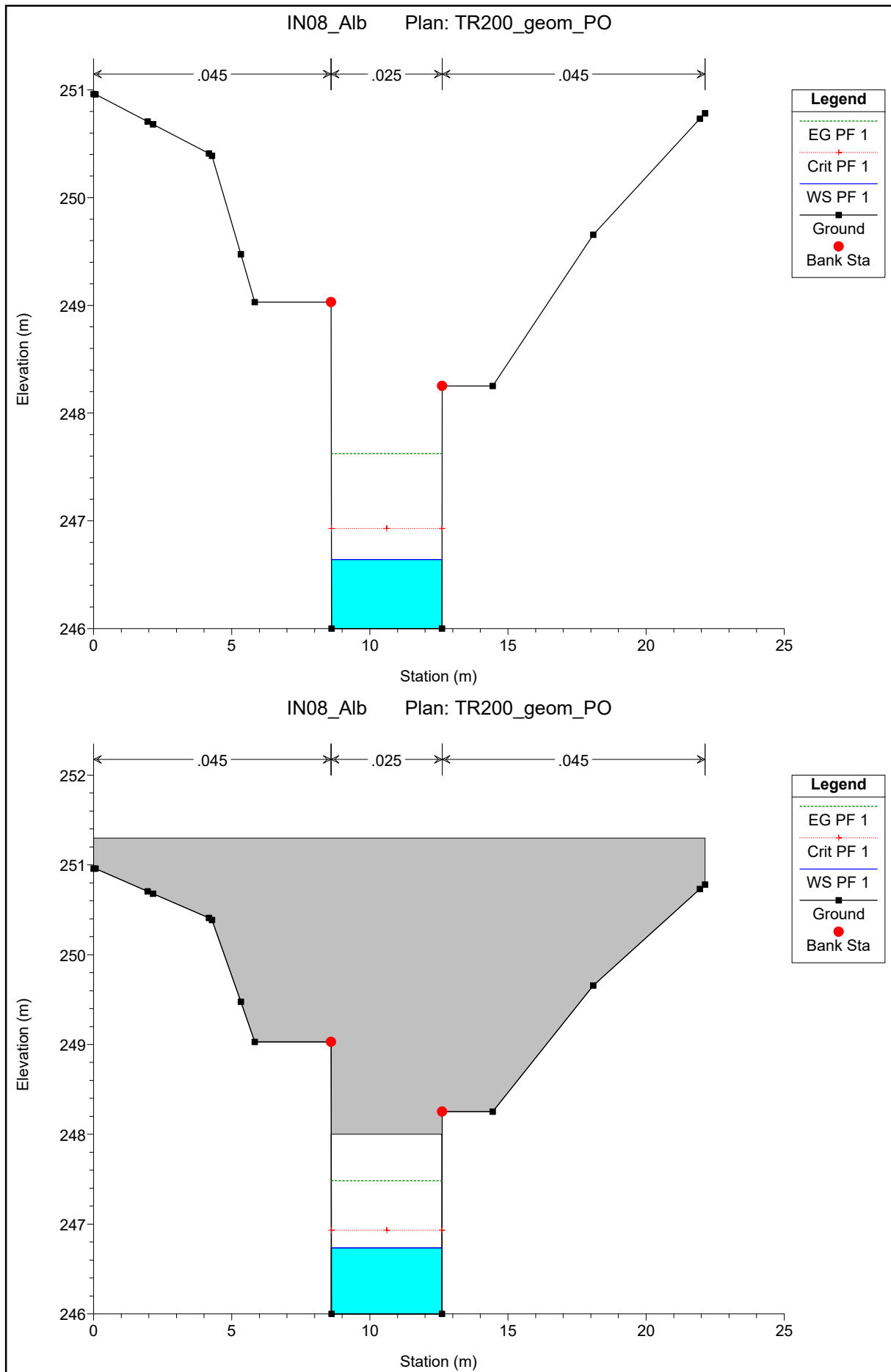
Legend	
EG PF 1	(green dotted line)
Crit PF 1	(red dotted line with '+' markers)
WS PF 1	(blue solid line)
Ground	(black solid line)
LOB	(purple dashed line)
ROB	(cyan dotted line)

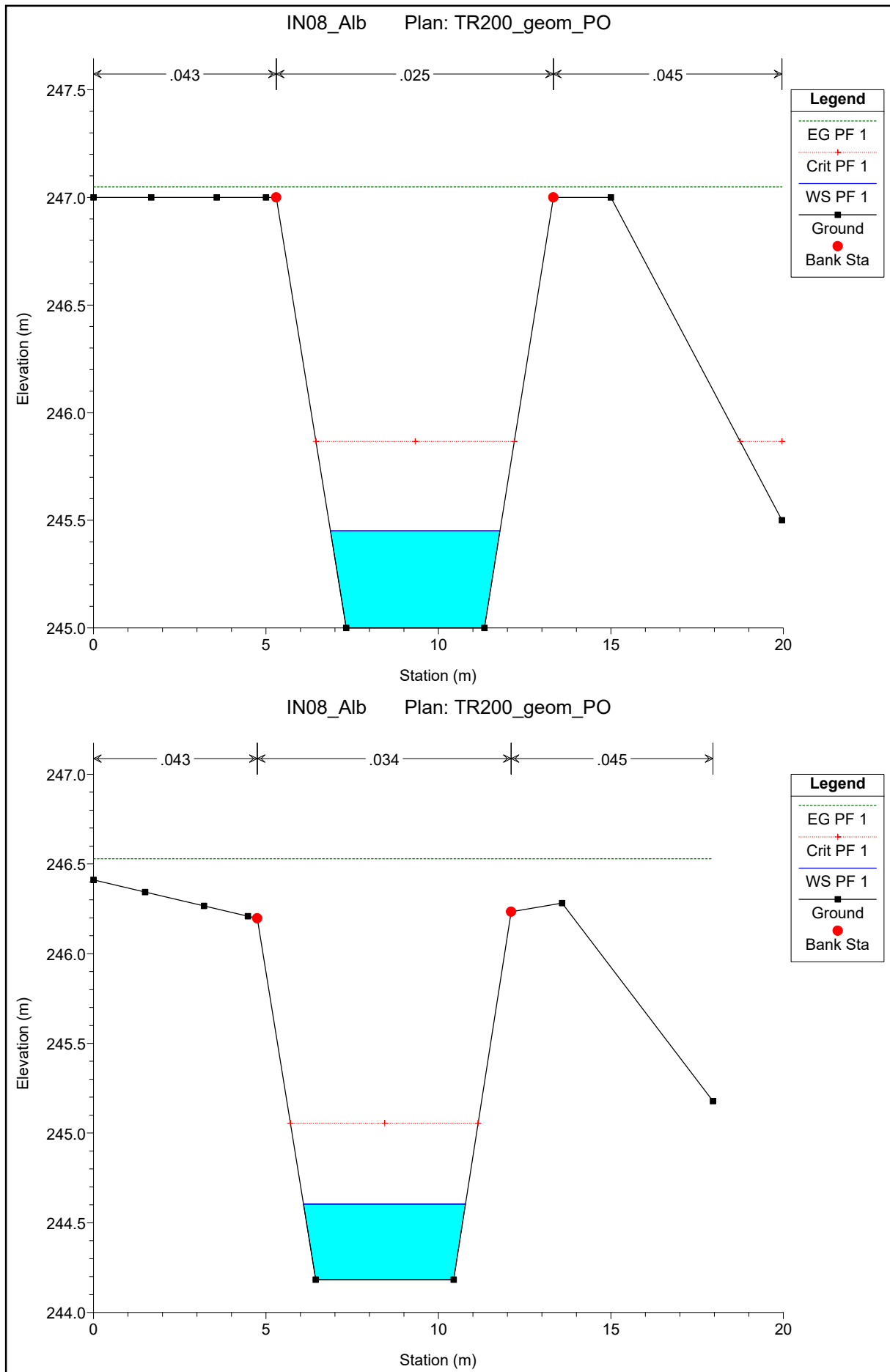


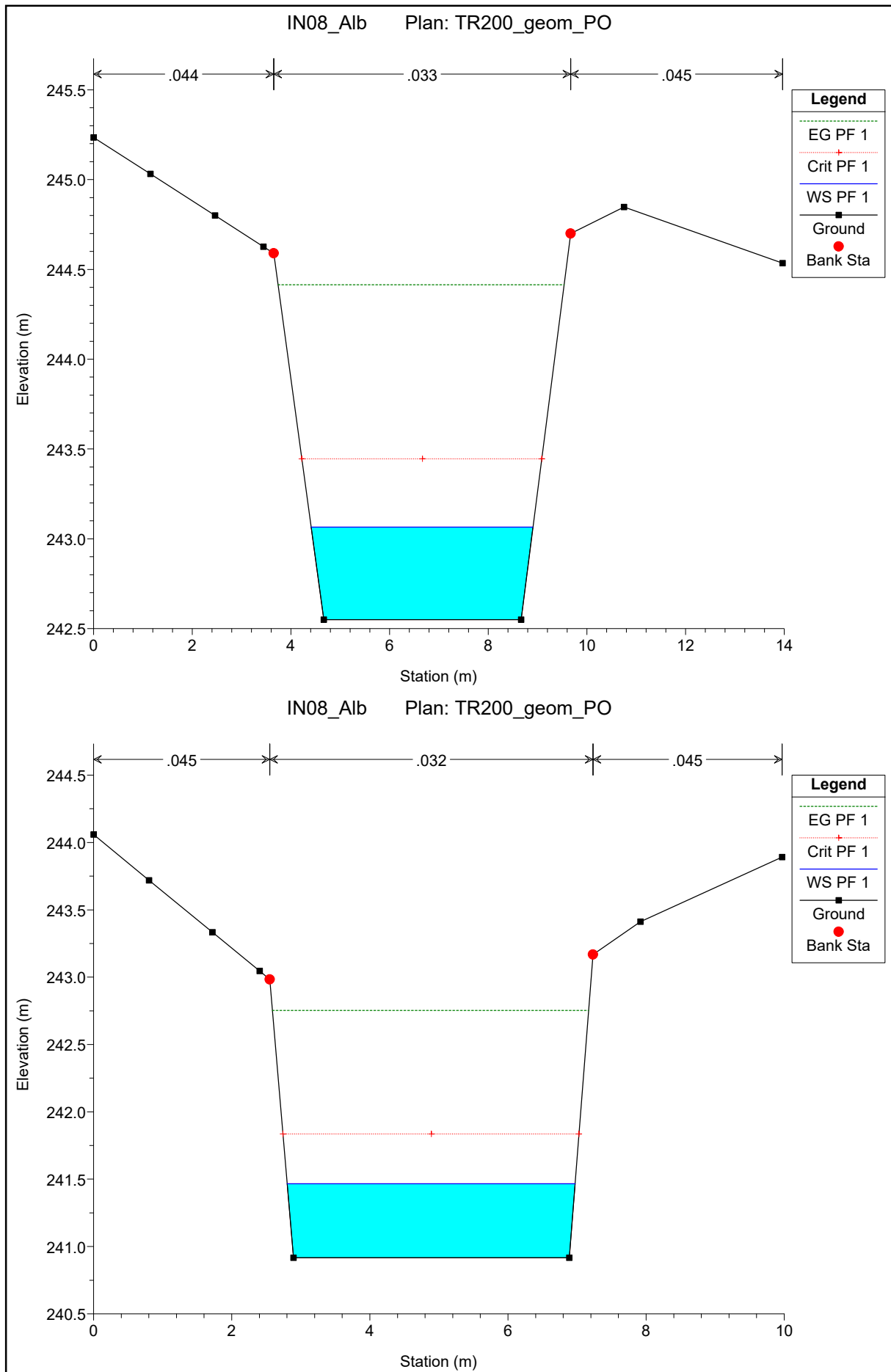


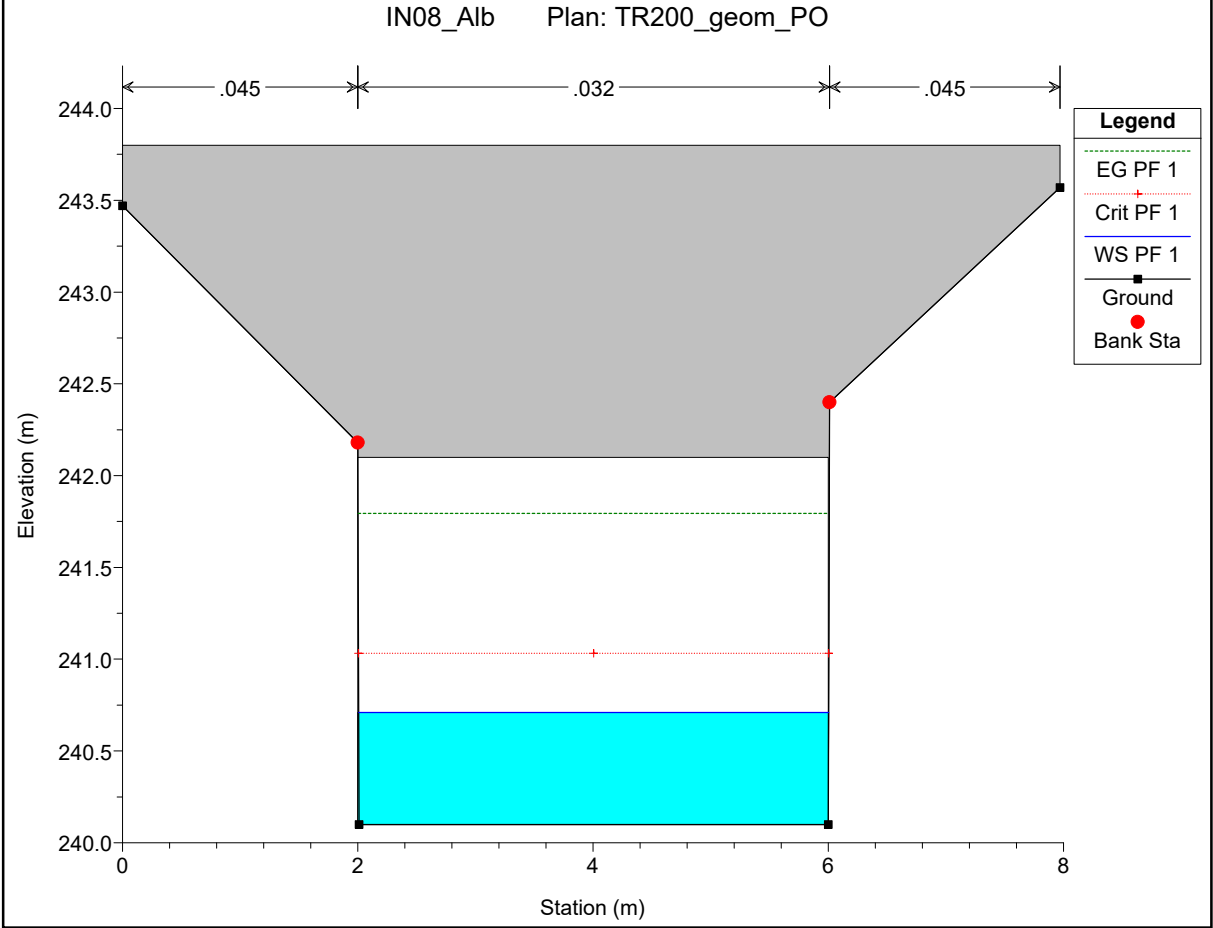
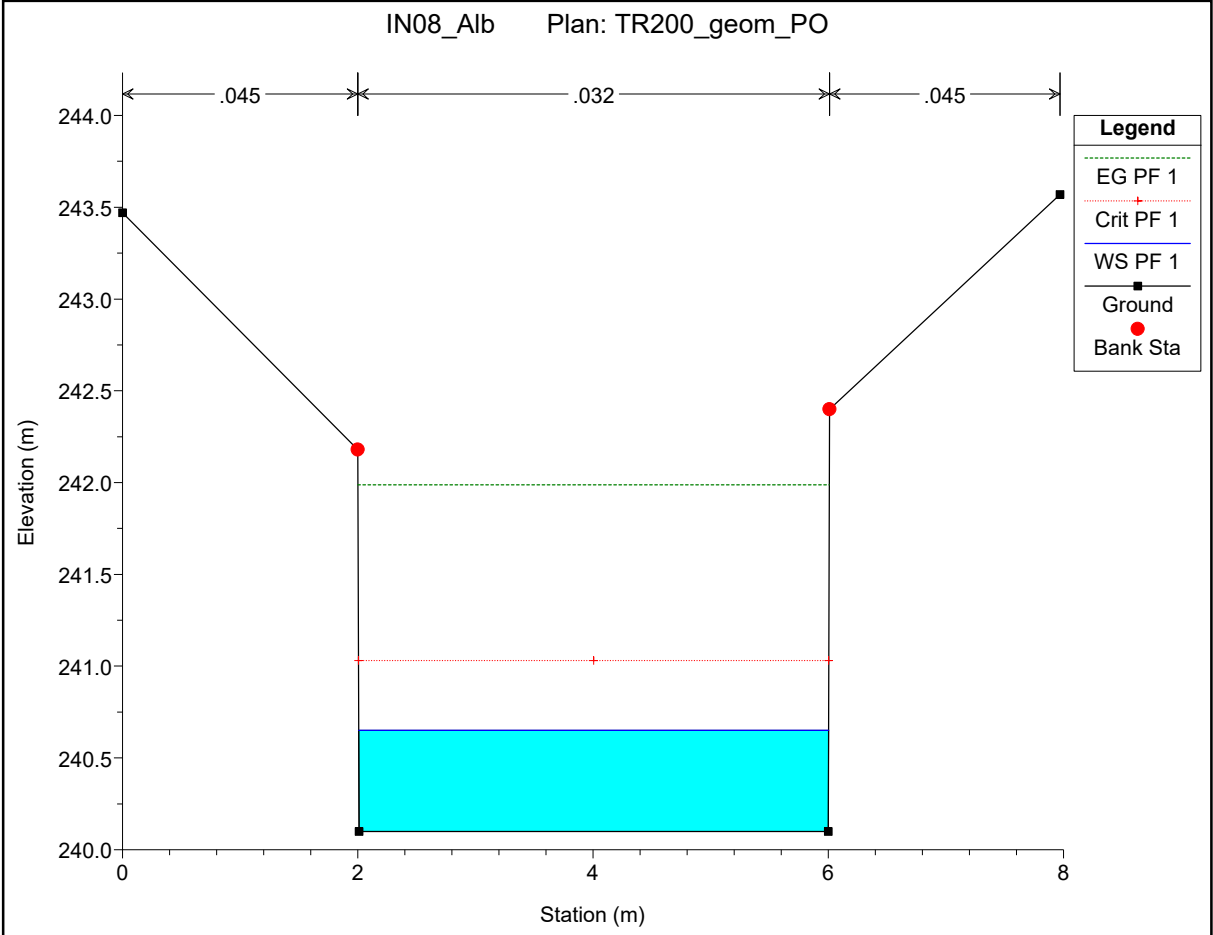


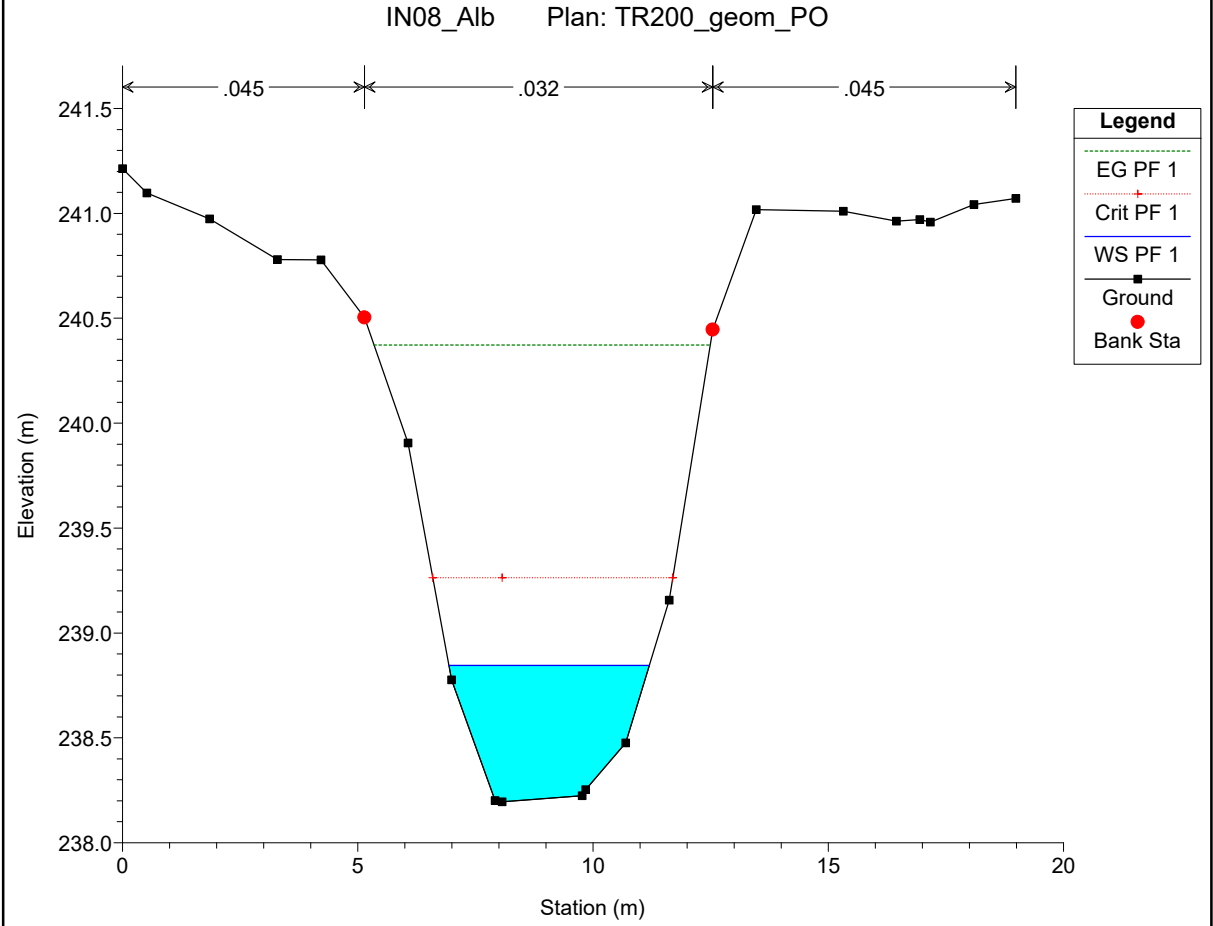
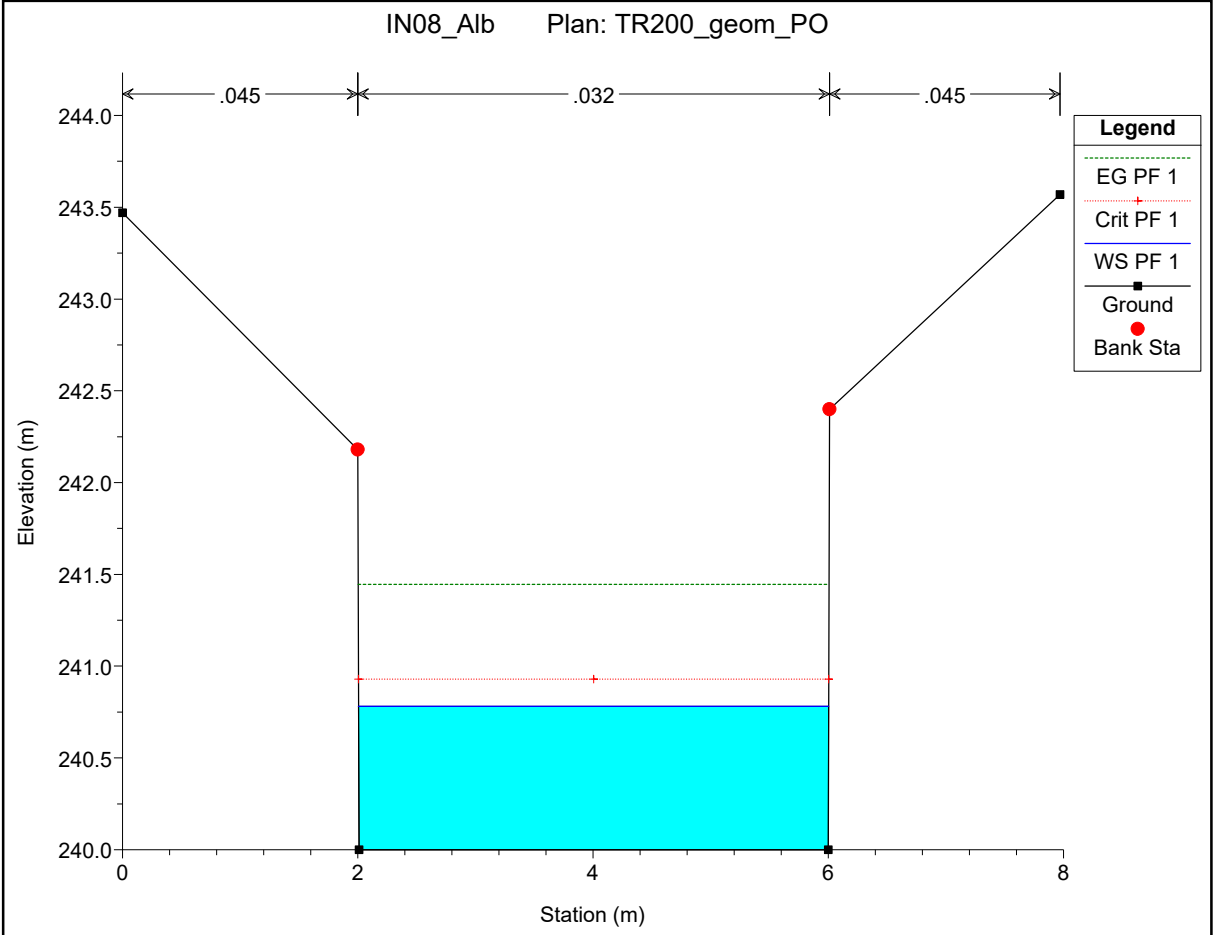


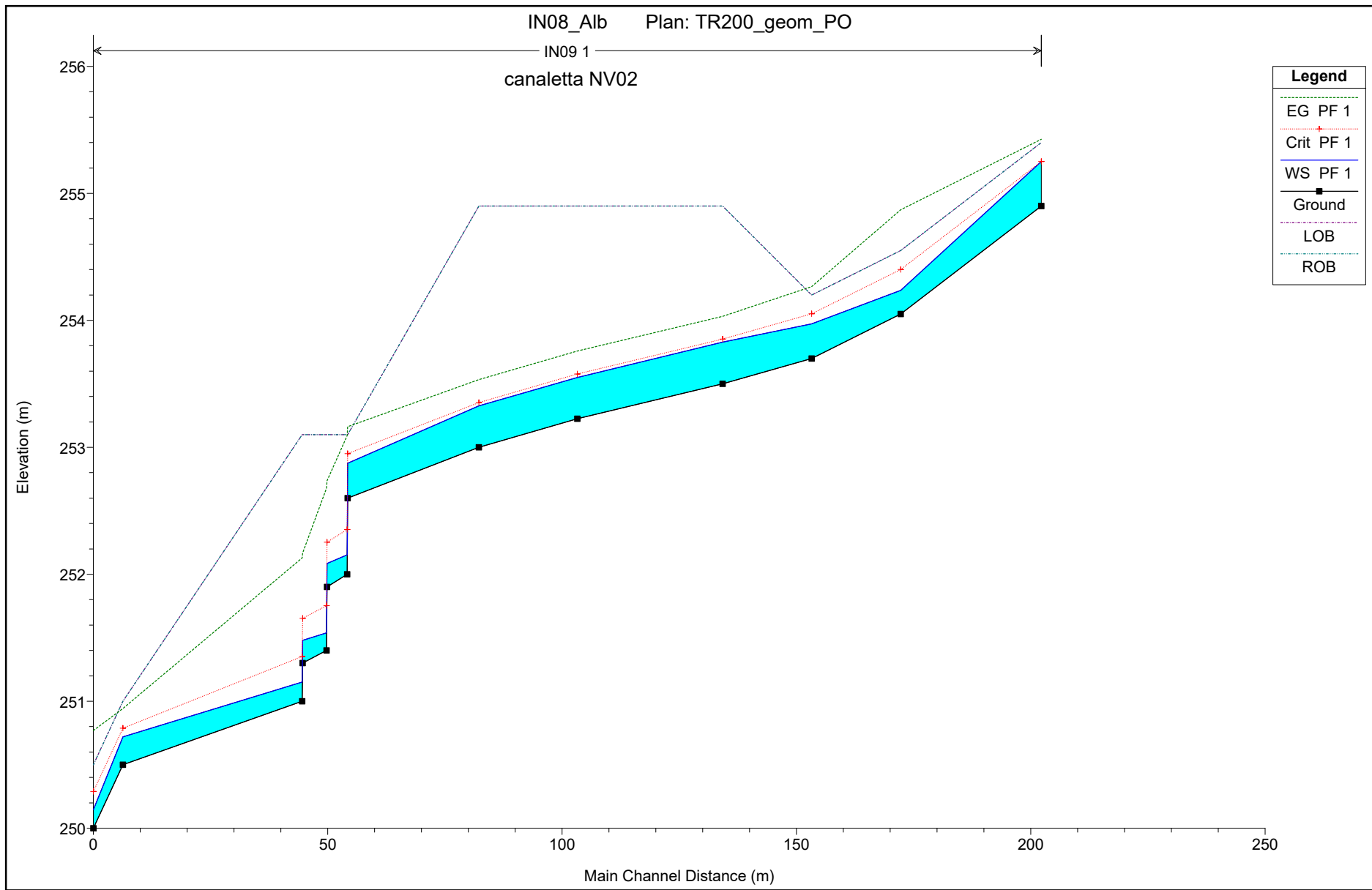




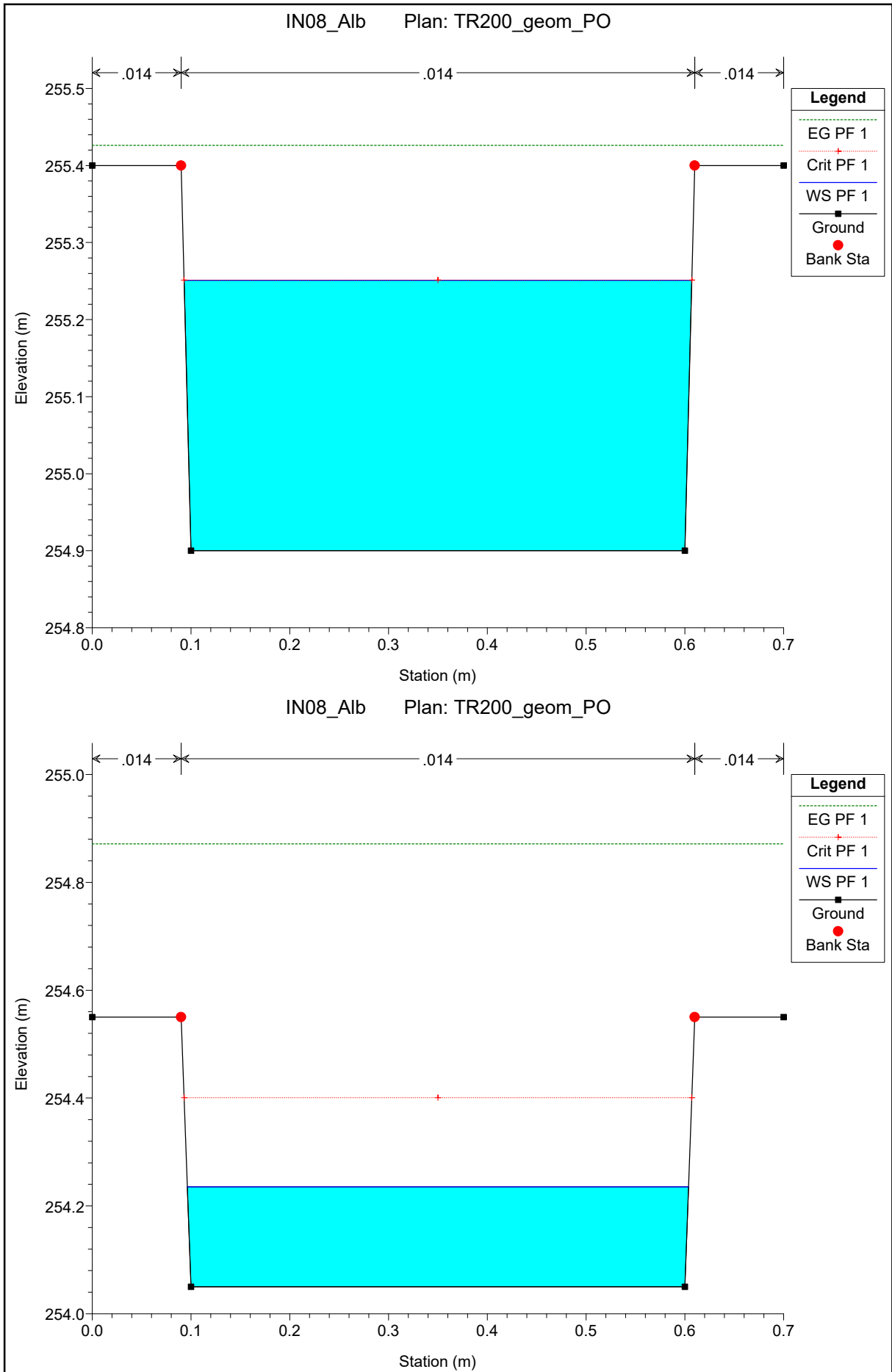




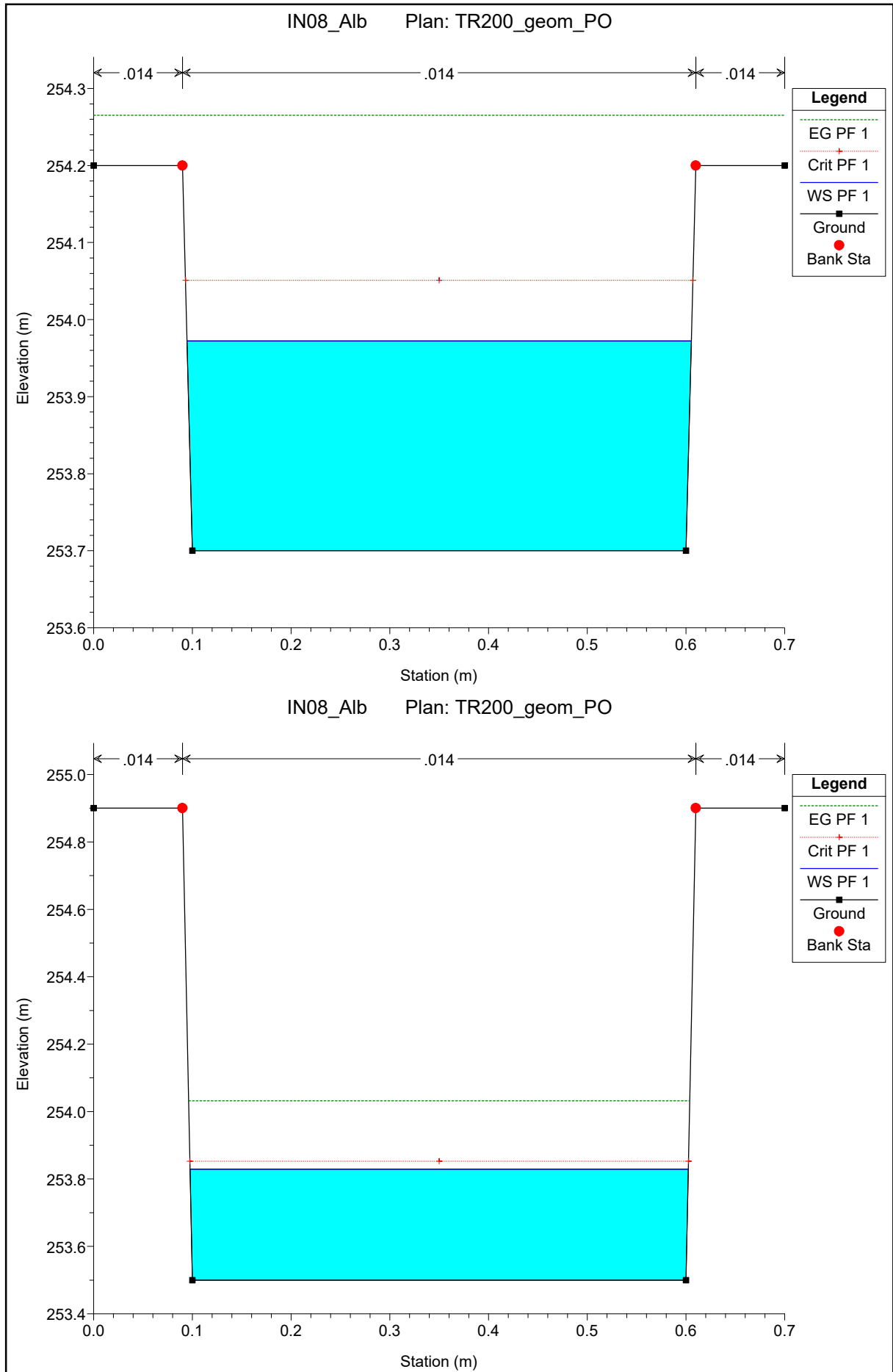




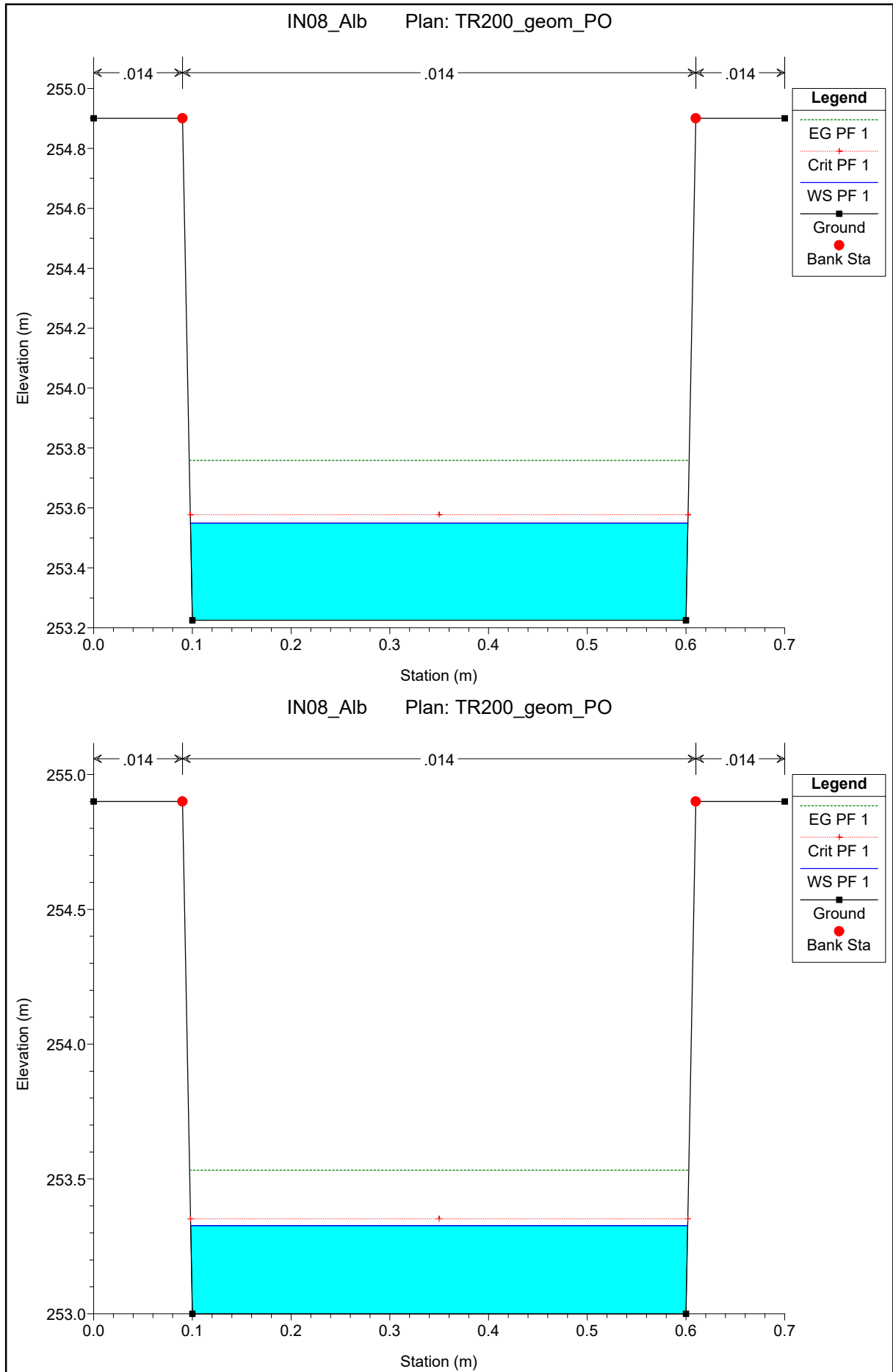
canaletta NV02



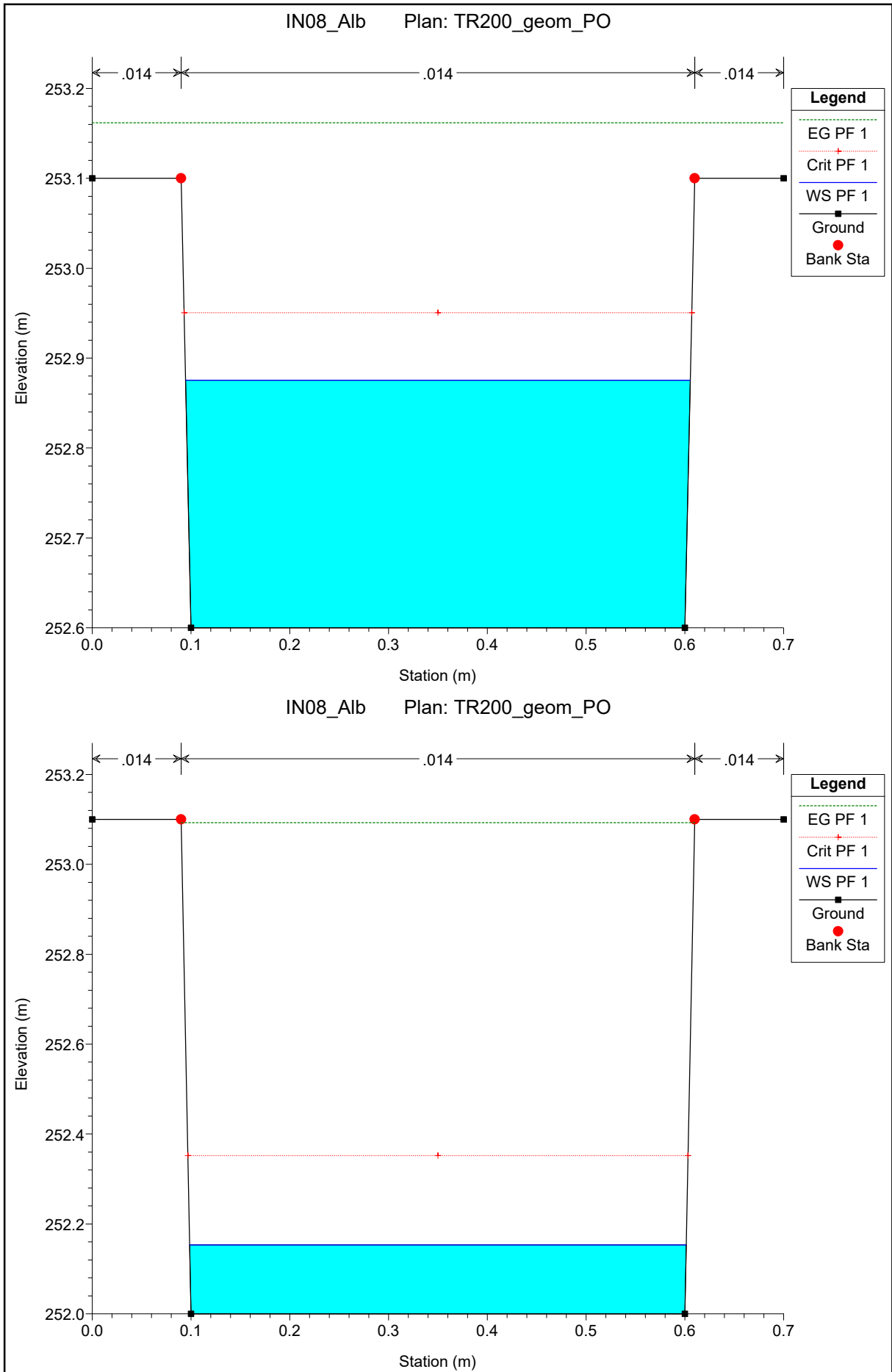
canaletta NV02



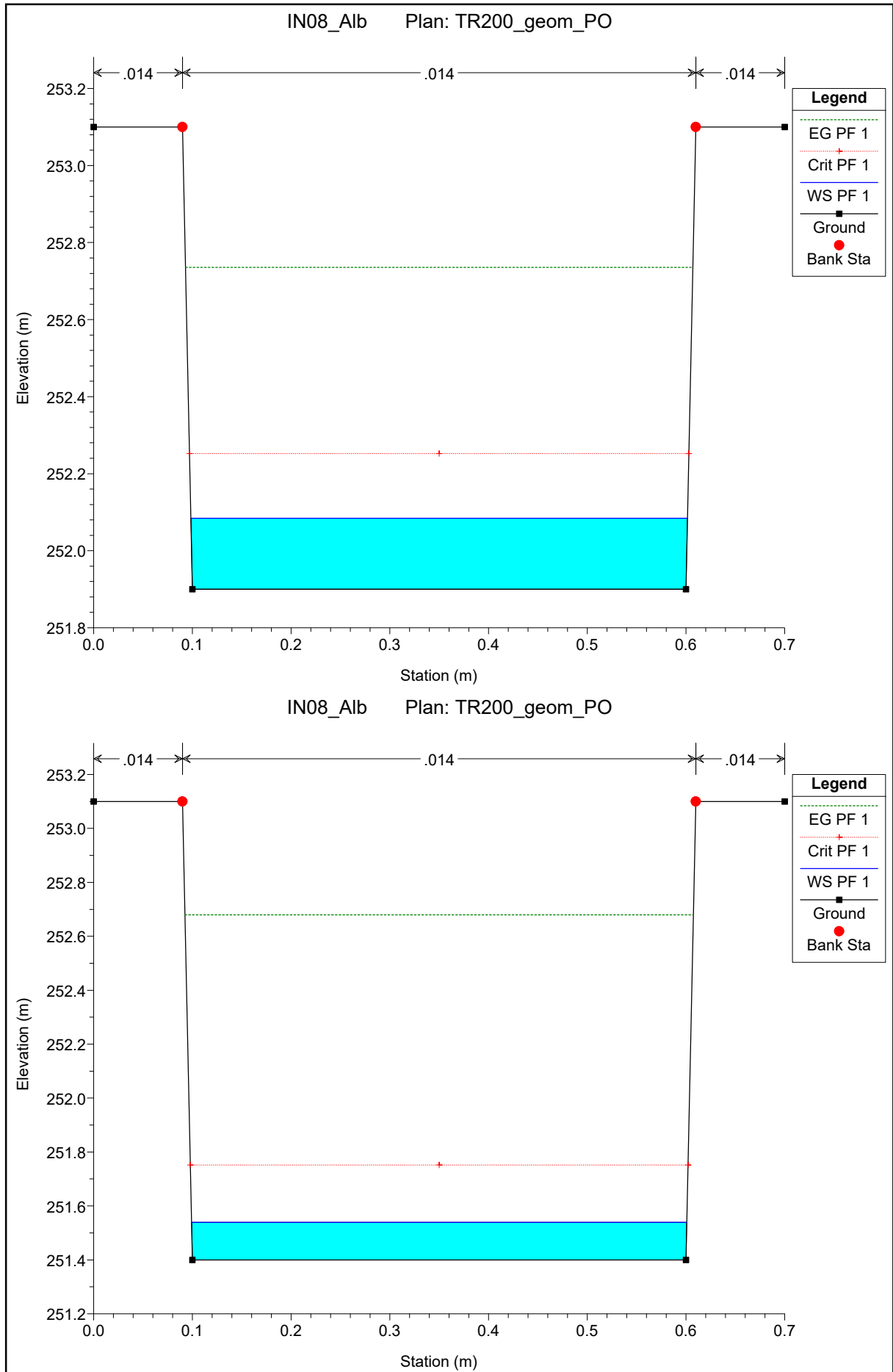
canaletta NV02



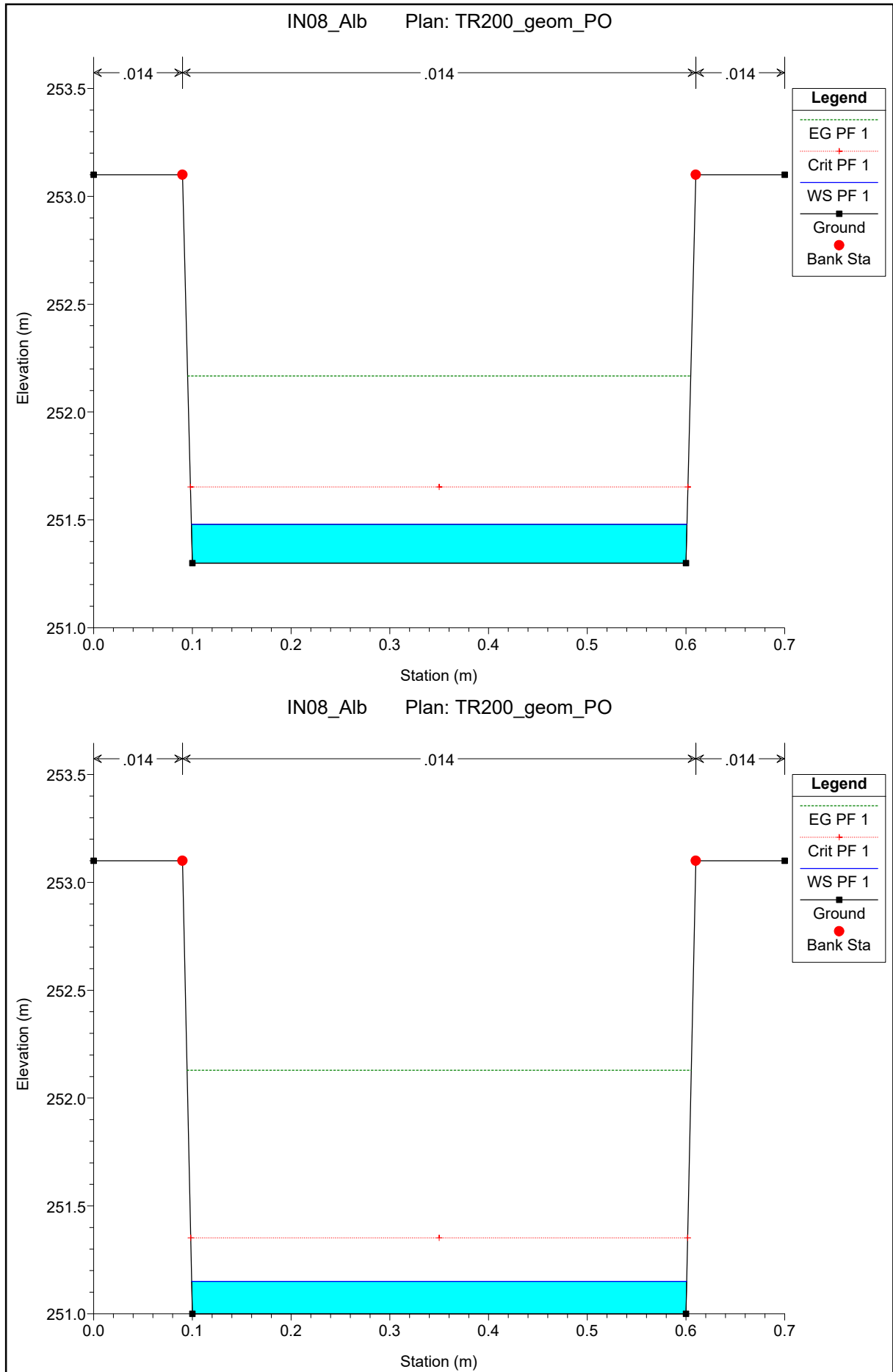
canaletta NV02



canaletta NV02



canaletta NV02



canaletta NV02 (fosso di guardia)

