

ELABORAT IN ŠTEVILČNA OZNAKA ELABORATA:**9/19D KONČNI ELABORAT o izvedbi strukturno geoloških,
hidrogeoloških, krasoslovnih in geotehniških raziskav****INVESTITOR:**

2TDK, Družba za razvoj projekta, d.o.o.
Železna cesta 18
1000 LJUBLJANA

OBJEKT:

Drugi tir železniške proge Divača - Koper

ZVEZEK 7- HIDROGEOLOŠKE RAZISKAVE

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY
1975

1975

1975

1975

Zvezek 7. Poročilo o izvedenih nalivalnih preizkusih v globokih vrtinah/piezometrih za 2 tir železniške proge Divača-Koper

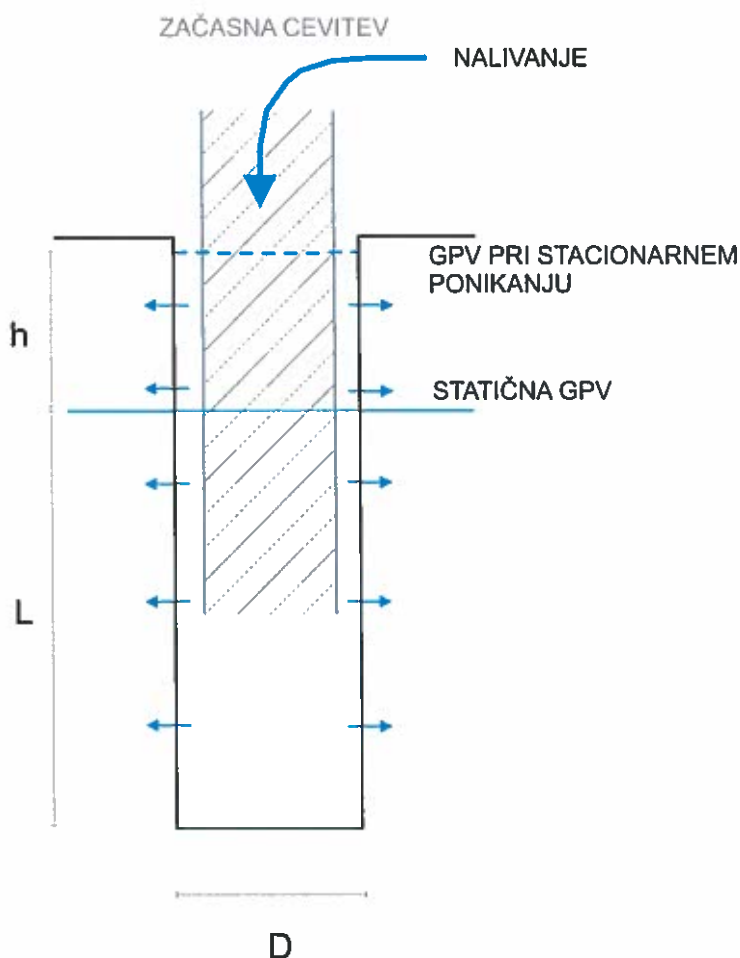
Kazalo vsebine

1.	IZHODIŠČNA POJASNILA	2
1.1.	Izvedba nalivalnih preizkusov brez packerja.....	2
1.2.	Izvedba nalivalnih preizkusov s packerjem.....	2
2.	IZVEDBA NALIVALNIH PREIZKUSOV	5
2.1.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T1-12/17	5
2.2.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T1-13/17	5
2.3.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T1-14/17	6
2.4.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T1-15/17	7
2.5.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-16/17	8
2.6.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-17/17	9
2.7.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-18/17	10
2.8.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-19/17	12
2.9.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-20/17	12
2.10.	Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T8-1/17	13
3.	OBDELAVA NALIVALNIH PREIZKUSOV	14
3.1.	Metode obdelave nalivalnih preizkusov	14
4.	SKLEP.....	19
5.	VIRI IN LITERATURA	19
6.	PRILOGA.....	19

1. IZHODIŠČNA POJASNILA

1.1. Izvedba nalivalnih preizkusov brez packerja

Koncept tehnične izvedbe stacionarnega dela nalivalnega preizkusa brez uporabe packerja je prikazan na sliki 1. Pri stacionarnem delu preizkusa se je voda nalivala do kote terena. Dejansko je voda ponikala tudi v območju začasne cevitve, torej nad odprtim delom vrtine, kar je v nasprotju s teoretičnimi predpostavkami, ki izhajajo iz uporabljenih metod. Zato smo z metodo po Hvorslevu lahko podali le intervalno oceno koeficienta prepustnosti. Pri intervalni oceni smo privzeli, da je voda ponikala le v odseku, ki je bil omejen z začetno gladino podzemne vode (za dolžino preiskovanega odseka L smo privzeli dolžino med globino napredovanja vrtine in statično gladino podzemne vode), zato je izračunan koeficient prepustnosti večji od dejanskega.

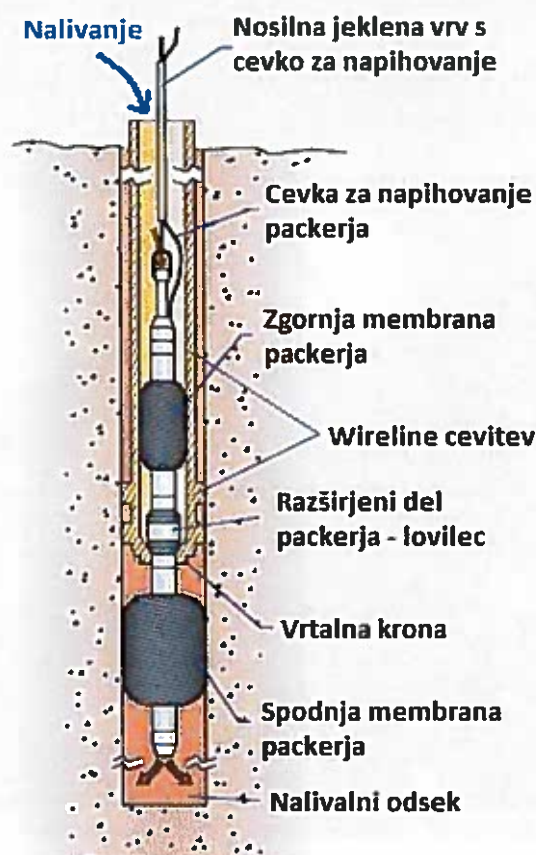


Slika 1: Grafični prikaz tehnične izvedbe stacionarnega nalivalnega preizkusa.

1.2. Izvedba nalivalnih preizkusov s packerjem

Nalivalni preizkus s packerjem je ena najbolj učinkovitih metod za določitev prepustnosti posameznega izbranega intervala v vrtini. Še posebej učinkovit je v razpokanih in zakraselih območjih, kjer lahko s pomočjo packerja zajamemo le razpokan del v vrtini. Z uporabo packerja dejansko zapremo zgornji del želenega nalivalnega odseka in tako ne prihaja do dviganja voda med začasno cevovijo in steno vrtine. Tako tudi lahko zagotavljamo ustrezne pogoje za obdelavo nalivalnega preizkusa.

Tehnična izvedba nalivalnega preizkusa s packerjem je prikazana na sliki 2. Grafični prikaz začasne ureditve ustja vrtine in potek nalivanja pa na slikah 3 in 4. Po doseženi predvideni globini vrtanja z metodo Wireline je potrebno vrtino oprati z vodo. Po popisu jeder se določi nalivalni odsek. Na podlagi te odločitve se dvigne Wireline cevitev z vrtalno krono na predvideno globino. Packer se vgradi na globino vrtalne krone tako, da se srednji – razširjen del packerja ujame v krono. S tem zgornji del packerja z zgornjo membrano ostane v Wireline cevitvi, spodnji del packerja s spodnjo membrano pa je vgrajen v odprti del vrtine, pod vrtalno krono. Membrani se napolnita hkrati na maksimalen tlak do 25 barov, odvisno od globine nalivalnega preizkusa, oziroma od pričakovanih tlakov v vrtini. Zgornja membrana zatesni Wireline cevitev, spodnja membrana pa odprti del vrtine. Dolžina nalivalnega odseka se izračuna: globina vrtanja je spodnja točka, globina vrtalne krone + 1,10 m je zgornja točka nalivalnega odseka. Packer ima na sredini cev, preko katere se voda naliva iz Wireline cevitve v odprti del vrtine. Meritve nalivalnega preizkusa se izvajajo ročno, ali preko tlačne sonde v Wireline cevitvi. Pred začetkom nalivanja je potrebno ugotoviti gladino vode v vrtini in če je mogoče počakati toliko časa, da se stabilizira na piezometrično gladino podzemne vode. Potem, ko je Wireline cevitev nalita do ustja in če razmere dopuščajo, se na ustju izvede stacionarni del nalivalnega testa – količina nalivanja se omeji do te mere, da je za določen čas gladina vode na ustju nespremenjena. Če je mogoče, je potrebno obe količini izmeriti (prvi del nalivanja do ustja in drugi del – stacionarni). Po končanem stacionarnem delu nalivanja se meri samo še znižanje gladine vode v Wireline cevitvi. Pri izračunih so pomembni naslednji podatki: premer in dolžina odprtega dela vrtine, notranji premer Wireline cevitve in količina nalite vode predvsem v stacionarnem delu nalivanja.



Slika 2: Tehnična izvedba nalivalnega preizkusa s packerjem (prirejeno po www.geopro.be/index.php/inflatable-packers).



Slika 3: Spuščanje packerja v vrtino T1-13/17 (levo) in nalivanje vode v vrtino (desno).



Slika 4: Prikaz manometrov na jeklenki napolnjeni z dušikom po namestitvi in zatesnitvi Packerja na globini 79,9 m.

2. IZVEDBA NALIVALNIH PREIZKUSOV

2.1. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T1-12/17

Nalivalni preizkusi so bili izvedeni kot nalivalni impulzni ali stacionarni testi. Vrtalci so morali pred izvedbo nalivalnega preizkusa, razceвити testiran odsek in vrtino očistiti s čisto vodo. Vodo so dostavili vrtalci z bližnjega vodohrana v Preložah pri Lokvi ali gasilci ZGRS Sežana. Najprej so bile izvedene meritve prehodnosti vrtine in gladine podzemne vode, sledila je vgradnja tlačne sonde preko katere smo kontinuirano merili nivo vode. S pomočjo vodne črpalke, odvodnih cevi in pretokomera za spremljavo včrpane količine, smo v določenem času vrtino napolnili nad statični nivo podzemne vode. Ko se je nalivanje prekinilo smo preko tlačne sonde merili vračanje nivoja v vrtini proti prvotnemu nivoju.

V času izvajanja vrtalnih del sta se v odprti vrtini izvedla dva nalivalna poskusa, tretji se je izvedel v cevljenem piezometru po izvedeni aktivaciji. Prvi nalivalni poskus je potekal dne 28.03.2018 na odseku med 60 m in 125 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 152 mm do globine 60 m. Izvedeni sta bili dve ponovitvi testov in sicer najprej impulzni nalivalni test nato je sledil še stacionarno nalivalni poizkus. Pri impulznem testu je bila gladina podzemne vode pred testom 115,40 m in višina vodnega stolpca nad sondo 9,85 m, nalita je bila količina 3 m³ vode. Pri stacionarnem testu je gladina podzemne vode pred testom znašala 98,25 m in višina vodnega stolpca 27,0 m nad sondo. V prvem delu smo nalivali količino 6,32 l/s nato smo količino zmanjšali na konstantno količino 2,15 l/s. Med izvedbo nalivalnega testa je pri povečanem tlaku, voda po določenem času pričela hitreje odtekati, kot posledica odpiranja posameznih razpok in povečanja prepustnosti.

Drugi nalivalni test je potekal dne 04.04.2018 na odseku med 185 m in 208 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 125,4/146 mm do globine 185 m. Metoda izvedbe je bila stacionarni nalivalni test. Nalivalna količina je bila 0,16 l/s, gladina podzemne vode pred testom je znašala 105 m in višina vodnega stolpca 61,5 m nad sondo.

Tretji nalivalni se je izvedel dne 11.6.2018 na odseku med 157,35 m in 247,35 m v cevljenem piezometru premera 88,6/101,6 mm, po izvedenem air-liftu. Metoda izvedbe je bila impulzni nalivalni test. Nalita količina je bila 3,5 m³, gladina podzemne vode pred testom 235,41 m in višina vodnega stolpca 9,2 m nad sondo.

2.2. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T1-13/17

Prvi nalivalni preizkus v vrtini T1-13/17 je bil izveden dne 27.3.2018 na odseku med 67,50 m in 115,00 m. Vrtina T1-13/17 pred nalivanjem ni bila očiščena z vodo. Do globine 67,5 m je bila vrtina zacevljena z začasno jekleno cevjo premera 104/118 mm, ki ni tesnila. Med 67,5 m in 115,0 m je bila vrtina zvrtna metodo Wireline premera 101,3 mm (odprti del vrtine – premer krone). Nalivanje vode je potekalo iz 10 m³ bazena preko centrifugalne črpalke v Wire Line cevitev, poraba nalite vode je bila zabeležena na vodni uri. Na globino 95 m od ustja (0,25 m nad koto tal) je bila vgrajena 15 barska sonda (podatki so se na registratorju beležili z vzorčnim časom 2 sekundi), ki je pred nalivanjem kazala 31,22 m vodnega stolpca, istočasno pa je bila izmerjena ročna meritev od ustja, ki je znašala 63,79 m. Nalivanje se je izvajalo trikrat. Prvo nalivanje je bilo zamišljeno kot izpiranje vrtine s čisto vodo in hkrati testiranje za naslednja nalivanja. Drugo nalivanje je bilo dolgotrajnejše z različnimi količinami nalivanja v začetni fazi, z namenom izvajanja stacionarnega nalivanja, ki je bilo uspešno tik

pred koncem nalivanja s količino 2,41 l/s. Tretje nalivanje se je izvajalo s konstantno količino nalivanja 2,39 l/s, vendar pa zaradi pomanjkanja vode stacionarno stanje ni bilo doseženo.

Drugi nalivalni preizkus v vrtini T1-13/17 je bil izveden dne 12. 4. 2018 na odseku med 197,5 m in 240,00 m. Vrtina je bila pred nalivanjem očiščena z vodo. Do globine 196,5 m je bila vrtina zacevljena z začasno jekleno cevjo premera 104/118 mm. Med 196,5 m in 240 m je bila vrtina zvrtna metodo Wire-line. V vrtino je bil vgrajen packer, ki je zatesnil območja med cevitvijo in stenami vrtine na odseku od 196,5 m do 197,5 m. Nalivanje vode je potekalo iz 10 m³ bazena. Med prvim nalivanjem je nalivanje potekalo preko centrifugalne črpalke. Ker smo ugotovili, da ne rabimo veliko vode smo med drugim nalivanjem vodo iz bazena nalivali prosto gravitacijsko. Količino vode smo merili z vodomerno uro in z vedrom. Na globino 150,13 m od ustja (0,3 m nad koto tal) je bila vgrajena 15 barska sonda (podatki so se na registratorju beležili z vzorčnim časom 2 sekundi), ki je pred nalivanjem kazala 38,39 m vodnega stolpca. Nalivanje se je izvajalo dvakrat. Med nalivanji smo vodo nalili, tako da se je dvignila do ustja nato smo izvajali nalivanje ob ustaljenem nivoju vode v vrtini. V obeh primerih, z nalivanjem 0,051 in 0,027 l/s vode je bilo doseženo stacionarno stanje. Kontrolne ročne meritve smo izvajali med upadanjem gladine vode v vrtini. Vrtina je bila pred nalivalnim preizkusom izvrtna do globine 273 m. Vendar se na odseku globine 235 do 275 pojavljajo meljno peščeno glinene plasti. Z vrtnimi deli je bilo ugotovljeno, da je bila vrtina po koncu nalivalnih preizkusov prehodna do globine 240 m.

Tretji nalivalni preizkus je bil izveden dne 28.6.2018 v cevljeni vrtini z vodnjaškimi cevmi premera 88,6/101,6 mm do končne globine 332 m in z dokončno urejenim ustjem. Pred izvedbo nalivalnega preizkusa je bila na globino 329,4 m vgrajena tlačna sonda, registrator pa je shranjeval podatke z vzorčnim časom 2 sekundi. Pred začetkom nalivanja je bila gladina podzemne vode 25,6 m nad sondo, oziroma na 303,8 m pod koto ustja. Ročna meritev gladine podzemne vode ni bila izvedena (merilec dolžine 250 m). Na začetku nalivanja s količino 5,66 l/s se je gladina vode dvignila iz začetnih 303,8 m na približno 170 m pod površino. Z namenom izvajanja stacionarnega nalivanja smo količino nalivanja zmanjševali na 0,83 l/s, 0,66 l/s in 0,33 l/s. Zaradi daljšega reakcijskega časa (velika globina) in premalo vode v cisterni, nam ni uspelo natančno določiti količino vode s katero bi dosegli stacionarno gladino vode. Glede na potek nihanja gladine vode lahko ocenimo, da bi bilo stacionarno nalivanje nekje med 0,66 l/s in 0,33 l/s. Skupna količina nalite vode je bila 4 m³ vode.

2.3. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T1-14/17

Nalivalna poskusa sta bila izvedena kot impulzni ali stacionarni nalivalni poizkus. Vrtalci so morali pred izvedbo nalivalnega poskusa razceвити testiran odsek in vrtino očistiti s čisto vodo. Vodo je bila dostavljena z bližnjega vodovoda v Kravem Potoku. Najprej so bile izvedene meritve prehodnosti vrtine in gladine podzemne vode, sledila je vgradnja tlačne sonde preko katere smo kontinuirano merili nivo vode. S pomočjo vodne črpalke, odvodnih cevi in pretokomera za spremljavo včrpane količine, smo v določenem času vrtino napolnili nad statični nivo podzemne vode. Ko se je nalivanje prekinilo smo preko tlačne sonde merili vračanje nivoja v vrtini proti prvotnemu nivoju.

V času izvajanja vrtnih del sta se v odprti vrtini izvedla dva nalivalna poskusa. Prvi nalivalni poskus je potekal dne 13.01.2018 na odseku med 141 m in 149,8 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 122,6 mm do globine 141 m. Metoda izvedbe je bil impulzni nalivalni test z nalito količino 2 m³ vode. Gladina podzemne vode je pred testom znašala 34,25 m in višina vodnega stolpca 17,30 m nad sondo. V prvi fazi izvedbe nalivalnega testa je pri povečanem tlaku, voda po določenem

času pričela hitreje odtekati, kot posledica odprtja razpok in povečanja prepustnosti nato je prišlo do zapolnitve razpoke in nadaljevanja običajnega dviga vode do maksimalne možne višine.

Drugi nalivalni test je potekal dne 15.01.2018 na odseku med 141 m in 172 m globine. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 122,6 mm do globine 141 m. Metoda izvedbe je bila stacionarni nalivalni test z dvema različnima količinama. Prvi poizkus je bil izveden z nalivalno količino 0,80 l/s, gladina podzemne vode pred testom je znašala 164,80 m in višina vodnega stolpca 0,0 m nad sondo. Vstavljena je bila višje nad gladino podzemne vode, na globini cca 149 m zaradi možne zarušitve vrtine. Po izvedbi 1 testa in stabilne vrtine je sledil spust tlačne sonde na globino 170,3 m. Druga nalivalna količina je bila 5,40 l/s, gladina podzemne vode pred testom je znašala 166,2 m in višina vodnega stolpca 4,10 m nad sondo. Med izvedbo nalivalnega testa je pri povečanem tlaku, voda po določenem času pričela hitreje odtekati, kot posledica odpiranja posameznih razpok in povečanja prepustnosti.

2.4. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T1-15/17

Prvi nalivalni preizkus je bil izveden dne 1. 12. 2017 na odprtem odseku med 43,00 m in 94,40 m s premerom 127 mm. Vrtina T-1-15/17 je bila pred nalivanjem (zadnji manevar) vrtana ob uporabi vode. Do globine 24 m je bila zacevljena z jekleno cevjo premera 152 mm, ki ni bila cementirana, do globine 43 m pa je bila zacevljena s tehnično kolono Wireline – a premera 104/118 mm. Nobena od omenjenih cevi na zunanji strani ni tesnila, kar pomeni, da se je nalita voda prosto dvigala po zunanji strani cevi. Nalivanje vode je potekalo preko motorne črpalke iz 10 m³ bazena, količina nalivanja se je spremljala na vodnem števcu, gladina vode v vrtini se je spremljalo preko 15 barske tlačne sonde, podatki pa so se shranjevali na registrator Eltratec z vzorčnim časom 5 sekund. Prvo nalivanje je bilo predčasno prekinjeno, med drugim nalivanjem pa je bilo izvedeno stacionarno nalivanje; med tem, ko je bila voda nalita do ustja cevitve, se je količina nalivanja korigirala do te mere, da je bila gladina vode določen čas stabilizirana na ustju Wireline cevitve. Med prvim nalivanjem v nezacevljen odsek vrtine na globini med 43,00 m in 94,40 m je bila 15 barska sonda vgrajena na globini 42,75 merjeno od ustja (1,19 m nad koto površja). Povprečna količina nalivanja je bila 2,1 l/s. Prvi preizkus ni bil korektno izveden, ker je bilo dno cevitve (vrtalna krona na globini 43 m) zamašen z delom jedra, ki je onemogočal prost pretok vode v odprti del vrtine. Pred izvedbo drugega nalivanja je bil zamašek odstranjen, zato je drugo nalivanje reprezentativno za analizo nalivalnega preizkusa. Med drugim nalivanjem v nezacevljen odsek vrtine na globini med 43,00 m in 94,40 m je bila 15 barska sonda vgrajena na globino 43,14 m, merjeno od ustja (1,26 m nad koto terena). Povprečna količina nalivanja je bila 2,63 l/s.

Drugi nalivalni preizkus je bil izveden dne 5.12.2017 na odseku med 78,30 m in 131,15 m s premerom 127 mm. Vrtina T-1-15/17 je bila pred nalivanjem (zadnji manevar) vrtana ob uporabi vode. Do globine 24 m je bila zacevljena z jekleno cevjo premera 152 mm, ki ni bila cementirana, do globine 78,30 m pa je bila zacevljena s tehnično kolono Wire line – a premera 104/118 mm. Nobena od omenjenih cevi na zunanji strani ni tesnila, kar pomeni, da se je nalita voda prosto dvigala po zunanji strani cevi. Nalivanje vode je potekalo preko motorne črpalke iz 10 m³ bazena, količina nalivanja se je spremljala na vodnem števcu, gladina vode v vrtini se je spremljalo preko 15 barske tlačne sonde, podatki pa so se shranjevali na registrator Eltratec z vzorčnim časom 5 sekund. Izvedeno je bilo stacionarno nalivanje; med tem, ko je bila voda nalita do ustja cevitve, se je količina nalivanja korigirala do te mere, da je bila gladina vode določen čas stabilizirana na ustju Wire line

cevitve. Med nalivanjem v nezacevljen odsek vrtine na globini med 78,30 m in 131,15 m je bila 15 barska sonda vgrajena na globino 49,83 m, merjeno od ustja (1,18 m nad koto terena). Povprečna količina nalivanja je bila 2,63 l/s.

Tretji nalivalni preizkus je bil izveden dne 28.12.2017 v cevljeni vrtini (z vodnjaškimi cevmi) se končno globino 199 m. Vrtina T-1-15/17 je bila po končanem vrtanju zacevljena z jeklenimi vodnjaškimi cevmi premera 101,6/88,6 mm, že med vrtanjem pa je bila do globine 24 m zacevljena z jekleno cevjo premera 152 mm, ki ni bila cementirana. Nobena od omenjenih cevi na zunanji strani ni tesnila, kar pomeni, da se je nalita voda prosto dvigala po zunanji strani cevi. Skupna je bilo na intervalu med 40 in 196 m vgrajenih 75 m filtrskih cevi. Po cevitvi z vodnjaškimi cevmi je bila vrtina T-1-15/17 (19.12.2017) aktivirana s centričnim airliftom, na kar so se v vrtini vzpostavile razmere za naravno nihanje gladine podzemne vode. Pred nalivanjem je bila gladina podzemne vode stabilna na globini 47,11 m pod ustjem vrtine. Nalivanje vode je potekalo preko 2" črpalke iz 10 m³ bazena, količina nalivanja se je izmerila ob koncu stacionarnega dela nalivanja, gladina vode v vrtini se je spremljalo preko 15 barske tlačne sonde, podatki pa so se shranjevali na registrator Eltratec z vzorčnim časom 5 sekund in 5 minut. Med stacionarnim nalivanjem se je količina nalivanja korigirala do te mere, da je bila gladina vode določen čas stabilizirana 32,85 m pod ustjem vrtine, ki je bilo 0,55 m nad koto tal. Nalivanje je potekalo v plasti laporovca, peščenjaka in meljevca. Med nalivanjem je bila 15 barska sonda vgrajena na globino 100 m, merjeno od ustja (0,55 m nad koto terena). Količina nalivanja do stacionarnega dela ni bila zabeležena, ocenjena je bila med 0,15 in 0,2 l/s, med stacionarnim nalivanjem pa je bila 0,041 l/s.

2.5. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-16/17

Prvi nalivalni preizkus v vrtini T-2-16 je bil izveden dne 8.1.2018 na odseku med 25,60 m in 73,60 m (Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.). Vrtina T-2-16/17 je bila pred nalivanjem (zadnji manever) vrtana ob uporabi vode. Do globine 5 m je bila zacevljena z jekleno cevjo premera 152 mm, ki ni bila cementirana, do globine 25,60 m pa je bila zacevljena s tehnično kolono Wire line – a. Nobena od omenjenih cevi na zunanji strani ni tesnila, kar pomeni, da se je nalita voda prosto dvigala po zunanji strani cevi. Nalivanje vode je potekalo preko alkatenske cevi, ki je bila napeljana iz vodovodnega hidranta, količina nalivanja se je izmerila v vedru, gladina vode v vrtini se je spremljala preko 15 barske tlačne sonde, podatki pa so se shranjevali na registrator Eltratec z vzorčnim časom 5 sekund. Po vgradnji tlačne sonde v Wire line cevitev na globino 30 m se je beležil dvig gladine podzemne vode, ki je bil posledica odvzema volumna, oziroma dviga Wire line cevitve za 48 m. Glede na to, da je bila 5.1.2018 izmerjena gladina podzemne vode na globini 5,7 m pod koto tal, na začetku meritev pa je bila gladina na globini preko 11 m, bi do stabilizacije potrebovali preveč časa, zato se je začelo z nalivanjem. Stacionarno gladino podzemne vode smo ocenili na 8,90 m pod ustjem vrtine. Nalivalni preizkus se je izvajal preko alkatenske cevi neposredno iz vodovodnega hidranta s količino 0,36 l/s. Ko je bila voda nalita do ustja se je količina nalivanja korigirala do te mere, da je bila gladina vode določen čas stabilizirana 0,3 m pod ustjem Wire line cevitve in je znašala 0,012 l/s.

Drugi nalivalni preizkus je bil izveden dne 15.1.2018 na odseku med 127,60 m in 175,60 m. Vrtina T2-16/17 je bila pred nalivanjem (zadnji manever) vrtana ob uporabi vode. Do globine 5 m je bila zacevljena z jekleno cevjo premera 152 mm, ki ni bila cementirana, do globine 127,60 m pa je bila zacevljena s tehnično kolono Wire line – a premera 104/118 mm. Nobena od omenjenih cevi na zunanji strani ni tesnila, kar pomeni, da se je nalita voda prosto dvigala po zunanji strani cevi.

Nalivanje vode je potekalo preko alkatenske cevi, ki je bila napeljana iz vodovodnega hidranta, količina nalivanja se je izmerila v vedru (0,36 l/s), gladina vode v vrtini se je spremljala preko 3 barske tlačne sonde, podatki pa so se shranjevali na registrator Eltratec z vzorčnim časom 5 sekund. Izvedeno je bilo stacionarno nalivanje (0,0006 l/s); med tem, ko je bila voda nalita do približno 3 m pod koto ustja vrtine, se je količina nalivanja korigirala do te mere, da je bila gladina vode določen čas stabilizirana na globini 2,96 m pod ustjem Wire line cevitve, ki je bilo 1,08 m nad koto tal. Med tem je bila gladina vode na zunanji strani cevitve stabilizirana na koti tal in se med potekom nestacionarnega dela preizkusa ni spreminjala.

Tretji nalivalni preizkus je bil izveden dne 23.1.2018 v necevljeni vrtini s končno globino 250 m. Vrtina T2-16/17 je bila med vrtanjem do globine 5 m zacevljena z jekleno cevjo premera 152 mm, ki ni bila cementirana in zato ni tesnila po končanem vrtanju dne 22.1.2018 pa je bila izplaka odstranjena s prečrpavanjem vode in nato razcevljena (Wire line cevitev). Po razcevljanju (približno 14 ur prej) je gladina vode v vrtini padla na neizmerjeno globino in se do začetka nalivalnega preizkusa še ni stabilizirala na statično gladino podzemne vode. Pred nalivanjem je bila gladina podzemne vode na globini 20,87 m pod koto tal (ustje cevi premera 152 mm) in se je še vedno dvigala. Nalivanje vode je potekalo preko alkatenske cevi, ki je bila napeljana iz vodovodnega hidranta, količina nalivanja se je izmerila v vedru (0,35 l/s), gladina vode v vrtini se je spremljala preko 3 barske tlačne sonde, podatki pa so se shranjevali na registrator Eltratec z vzorčnim časom 5 sekund. Izvedeno je bilo stacionarno nalivanje (0,0008 l/s); med tem, ko je bila voda nalita do približno 4,5 m pod koto ustja vrtine (kota tal), se je količina nalivanja korigirala do te mere, da je bila gladina vode določen čas stabilizirana na globini 4,57 m pod koto tal. Po stacionarnem delu nalivanja, med meritvijo količine, je prišlo do nepredvidenega dogodka, ki je povzročil nenačrtovano nalivanje vode v vrtino in posledično dvig gladine za 0,1 m. Med nalivanjem je bila 15 barska sonda vgrajena na globino 22,74 m, merjeno od kote tal. Količina nalivanja do stacionarnega dela je bila 0,35 l/s, med stacionarnim nalivanjem pa je bila 0,0008 l/s.

2.6. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-17/17

Prvi nalivalni preizkus v vrtini T2-17/17 je bil izveden dne 6.2.2018 na odseku med 31,40 m in 79,40 m. Vrtina T2-17/17 je bila pred nalivanjem očiščena z vodo. Do globine 30 m je bila zacevljena z jekleno cevjo premera 152 mm, ki ni tesnila. Globina vrtine je bila 79,40 m. Pred nalivanjem je bila Wire Line cevitev dvignjena do globine 30,30 m (globina vrtalne krone). Na isto globino je bil vgrajen dvojni packer, ki je odprti del vrtine zatesnil med 31,4 m in 30,4m (spodnja membrana), notranjost Wire Line cevitve (zgornja membrana) pa 1 m nad vrtalno krono. Obe membrani Packerja sta bili napolnjeni iz dušikove jeklenke pod pritiskom 9 barov. Nalivanje vode je potekalo iz 10 m³ bazena preko črpalke na vrtalni garnituri v Wire Line cevitev, skozi packer v odprti del vrtine, celoten potek sprememb gladine vode v vrtini se je spremljalo in zapisovalo ročno na 10, 30 in 60 sekund. Pred in po vgradnji packerja se je merila gladina vode od ustja Wireline cevitve (1,1 m nad koto tal). Pred začetkom nalivanja se je gladina vode dvigala med 11,05 m in 10,04 m pod ustjem in se ni ustalila. Voda je bila nalita do ustja (0,34 l/s), sledil je stacionarni del nalivanja (0,0046 l/s), na koncu pa se je izvajala meritev znižanja gladine vode v Wireline cevitvi. Od zatesnitve Packerja naprej ter med potekom celotnega nalivalnega preizkusa se med Wireline cevjo in cevjo premera 152 mm na ustju ni pojavila voda, kar je potrditev, da je Packer tesnil.

Drugi nalivalni preizkus je bil izveden dne 10.2.2018 na odseku med 80 m in 128 m. Vrtina T2-17/17 je bila pred nalivanjem očiščena z vodo. Do globine 30 m je bila zacevljena z jekleno cevjo premera 152 mm, ki ni tesnila. Globina vrtine je bila 128 m. Pred nalivanjem je bila Wire Line cevitev dvignjena do globine 78,9 m (globina vrtalne krone). Na isto globino je bil vgrajen dvojni packer, ki je odprti del vrtine zatesnil med 79 m in 80 m (spodnja membrana), notranjost Wire Line cevitve (zgornja membrana) pa 1 m nad vrtalno krono. Obe membrani Packerja sta bili napolnjeni iz dušikove jeklenke pod pritiskom 20 barov. Po vgradnji Packerja se je merila gladina vode od ustja Wireline cevitve (1,1 m nad koto tal). Pred začetkom nalivanja se je gladina vode dvigala med 9,31 m in 8,77 m pod ustjem in se ni ustalila. Voda je bila nalita do ustja (0,55 l/s), sledil je stacionarni del nalivanja (0,0055 l/s) z gladino vode na ustju, na koncu pa se je izvajala meritev znižanja gladine vode v Wireline cevitvi, celoten potek se je spremljal in zapisoval preko 3 barske tlačne sonde in registratorjem Eltratec z vzorčnim časom 5 sekund. Od zatesnitve packerja naprej ter med potekom celotnega nalivalnega preizkusa se med Wireline cevjo in cevjo premera 152 mm na ustju ni pojavila voda, kar je potrditev, da je Packer tesnil.

Tretji nalivalni preizkus v vrtini T2-17/17 je bil izveden dne 18.6.2018 v cevljeni vrtini z vodnjaškimi cevmi do globine 150 m in z dokončno urejenim ustjem. Vse meritve/globine navedene v nadaljevanju, so bile izmerjene od zgornjega ustja (kota tal). Vrtina T-2-17/17 je bila po končanih vrtalnih delih zacevljena z vodnjaško jekleno cevjo notranjega premera 88,6 mm in zunanjega premera 101,6 mm in z vgrajenimi filtri na predvidenih globinah. Po cevitvi, oziroma pred zadnjim nalivalnim preizkusom, je bila aktivirana z dvojnimi Air Lift -om. Pred nalivanjem je bila stabilizirana gladina podzemne vode na globini 3,17 m. Nalivanje vode je potekalo gravitacijsko iz 50 l soda, gladina vode v vrtini se je spremljala preko 1 barske tlačne sonde, ki je bila vgrajena na globino 5,17 m, podatki pa so se shranjevali v registratorju Eltratec z vzorčnim časom 5 sekund. Prva faza nalivanja se je izvedla z neizmerjeno količino do ustja vodnjaške cevitve, v drugi fazi se je izvajalo stacionarno nalivanje (0,0018 l/s), po prekinitvi nalivanja, pa se je merilo znižanje gladine vode v vrtini.

2.7. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-18/17

Prvi nalivalni preizkus v vrtini T-2-18/18 je bil izveden dne 1.3.2018 na odseku med 131,10 m in 139,50 m. Kot bo opisano v nadaljevanju, so bile razmere za izvedbo nalivalnega preizkusa zelo težke. Vrtina T2-18/17 pred nalivanjem ni bila očiščena z vodo. Glavna vzroka sta bila velika izguba izplake med vrtanjem zadnjih manevrov in primanjkljaj vode pred nalivanjem. Do globine 131 m je bila vrtina zacevljena z jekleno cevjo premera 152 mm, ki ni tesnila. Na isto globino je bil vgrajen dvojni packer, ki je odprti del vrtine zatesnil med 132,1 m in 139,5m (spodnja membrana), notranjost Wire Line cevitve (zgornja membrana) pa 1 m nad vrtalno krono. Obe membrani Packerja sta bili pred nalivanjem napolnjeni iz dušikove jeklenke pod pritiskom 20 barov. Nalivanje vode je potekalo iz 10 m³ bazena preko centrifugalne črpalke v Wire Line cevitev, skozi packer v odprti del vrtine, poraba nalite vode je bila zabeležena na vodni uri. Pred vgradnjo packerja se je izmerila gladina vode (izplake) od ustja Wireline cevitve (1,9 m nad koto tal) na 130,55 m, oziroma na 128,65 m preračunano od kote tal. Pred začetkom nalivanja je bila v Wireline cevitve (tik nad packer na globino 131,4/129,5 m) vgrajena 15 barska sonda (podatki so se na registratorju beležili z vzorčnim časom 2 sekundi), ki je bila pred nalivanjem na suhem, kar pomeni, da je gladina vode (izplake) v času od ročne meritve pred vgradnjo packerja in do vgradnje sonde padla pod 131,4/129,5 m globine (merjeno od ustja WL/kote tal). Nalivanje se je izvajalo dvakrat. Prvo nalivanje je bilo predčasno prekinjeno, ker je v centrifugalni črpalki zmanjkalo goriva. Drugo nalivanje je bilo prav tako predčasno

prekinjeno, ker je zmanjkalo vode, zaradi česar ni bila izvedena meritev pretoka (v sod) po stacionarnem delu drugega nalivanja. Omeniti je potrebno, da je bila pred nalivalnim preizkusom, ko se je izvajalo vrtanje med 131 m in 139,5 m zaradi razpokanega apnenca velika izguba izplake (vode). Zaradi celodnevne sneženja, je bila otežena tudi dostava vode. Voda, ki je ostala v bazenu za nalivalni preizkus je bila deloma zamrznjena, zaradi česar ni pravilno deloval zapis porabe vode na vodnem števcu. Med izvajanjem nalivanja pa, kot že zapisano, je zmanjkalo goriva in na koncu še vode. Iz napisanega sledi, da je poraba vode med nalivanjem ocenjena: deloma na podlagi odčitkov na vodnem števcu, deloma na podlagi predhodnih nalivalnih testov na vrtini T1-15, kjer se je nalivalo preko iste centrifugalne črpalke. Na podlagi teh ocen se je med nalivanjem do stacionarnega dela nalivalo približno 3 l/s, med stacionarnim delom pa najmanj 2,2 l/s.

Drugi nalivalni preizkus je bil izveden dne 7.3.2018 na odseku med 140,6 m in 171,0 m. Vrtina T2-18/17 pred nalivanjem ni bila očiščena z vodo. Glavna vzroka sta bila velika izguba izplake med vrtanjem zadnjih manevrov in primanjkljaj vode pred nalivanjem. Do globine 139,5 m je bila vrtina zacevljena z jekleno začasno cevjo premera 104/114 mm, ki ni tesnila. Med 139,5 m in 171,0 m je bila vrtina zvrtana metodo Wireline premera 98 mm (odprti del vrtine). Na globino 139,5 m je bil vgrajen dvojni packer, ki je odprti del vrtine zatesnil med 139,5 m in 140,6 m (spodnja membrana), notranjost začasne cevovte (zgornja membrana) pa med 138,0 m in 139,5 m. Obe membrani Packerja sta bili pred nalivanjem napolnjeni iz dušikove jeklenke pod pritiskom 20 barov. Pred vgradnjo packerja se je merila gladina podzemne vode ročno (ustje 0,25 m nad koto tal), v tem času je bil zabeležen dvig gladine od 144,26 m do 143,53 m, po vgradnji Packerja pa je bila na globino 138 m vgrajena še 15 barska sonda (podatki so se beležili v registartorju z vzorčnim časom 2 sekundi), ki je bila pred nalivanjem na suhem. Voda se je nalivala iz 10 m³ bazena, preko centrifugalne črpalke, skozi packer v odprti del vrtine, poraba nalite vode je bila zabeležena na vodni uri. Količina nalivanja je bila ves čas nespremenjena in je znašala 5,25 l/s, ročna meritev pretoka v sodu pa je bila opravljena takoj po koncu nalivanja. Tik pred koncem nalivanja je uspel stacionarni del nalivanja (5,25 l/s) z gladino vode na globini med 121,7 m in 121,9 m. Po koncu nalivanja je gladina vode hitro padla pod tlačno sondo in packer. Po izvleku packerja sta bili izvedeni še dve meritvi gladine vode na globini 142,34 m in 142,36 m, kar kaže na piezometrično gladino podzemne vode. Vse meritve gladine podzemne vode so bile merjene od ustja jeklene začasne cevovte premera 104/114 mm.

Tretji nalivalni preizkus je bil izveden dne 18.6.2018 v cevljeni vrtini z vodnjaškimi cevmi do globine 200,4 m in z dokončno urejenim ustjem. Vse meritve/globine navedene v nadaljevanju, so bile izmerjene od ustja. Vrtina T2-18/17 je bila po končanih vrtalnih delih zacevljena z vodnjaško jekleno cevjo notranjega premera 88,6 mm in zunanjega premera 101,6 mm in z vgrajenimi filtri na predvidenih globinah. Po cevitvi, oziroma pred zadnjim nalivalnim preizkusom, je bila aktivirana z dvojnimi Air Lift -om. Pred nalivanjem je bila stabilizirana gladina podzemne vode na globini 158,63 m. Nalivanje vode je potekalo iz gasilske cisterne (3,5 m³) preko gasilskih cevi in vodnega števca, gladina vode v vrtini se je spremljala preko 15 barske tlačne sonde, ki je bila vgrajena na globino 162,38 m, podatki pa so se shranjevali v registratorju Eltratec z vzorčnim časom 2 sekundi. Nalivanje je bilo izvedeno dvakrat. Med prvim nalivanjem se je nalivalo med 12,7 in 12,8 l/s. Pri tem se je zabeležil maksimalen dvig gladine za 43,77 m, stacionarno nalivanje pa ni bilo izvedeno, ker je zmanjkalo vode. Po prvem nalivanju se gladina podzemne vode ni vrnila na globino pred prvim nalivanjem. Če je bila gladina pred prvim nalivanjem na globini 158,63 m, se je hitrejši del znižanja zaključil na globini 141,28 m. Sledila je počasnejša faza znižanja gladine vode ki je trajala do naslednjega dovoza vode. Tik pred začetkom drugega nalivanja je bila voda na globini 144,14 m.

Med drugim nalivanjem se je nalivalo konstantno 8,9 l/s. Pred nalivanjem je bil namen z manjšo količino izvajati stacionarni del nalivanja, žal pa je bila ocena količine nalivanja prevelika, glede na količino pripeljane vode, zato stacionarni del nalivanja tudi v tem primeru ni uspel. Gladina vode se je namreč tudi v zadnji fazi nalivanja še naprej rahlo dvigala. Ob koncu nalivanja se je zabeležil maksimalen dvig gladine za 21,80 m, sledila je meritev znižanja gladine vode v vrtini.

2.8. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-19/17

Opis poteka nalivalnih preizkusov, globine odprtih odsekov nalivanja, paker, itd

Nalivalni poskusi so bili izvedeni kot nalivalni impulzni ali stacionarni testi. Vrtalci so morali pred izvedbo nalivalnega poskusa razceвити testiran odsek in vrtino očistiti s čisto vodo. Vodo je bila dostavljena z bližnjega rižanskega vodovoda. Najprej so bile izvedene meritve prehodnosti vrtine in gladine podzemne vode, sledila je vgradnja tlačne sonde preko katere smo kontinuirano merili nivo vode. S pomočjo vodne črpalke, odvodnih cevi in pretokomera za spremljavo včrpane količine, smo v določenem času vrtino napolnili nad statični nivo podzemne vode. Ko se je nalivanje prekinilo smo preko tlačne sonde merili vračanje nivoja v vrtini proti prvotnemu nivoju.

V času izvajanja vrtalnih del sta se v odprti vrtini izvedla dva nalivalna poskusa, tretji se je izvedel v cevljenem piezometru po izvedeni aktivaciji. Prvi nalivalni poskus je potekal dne 03.03.2018 na odseku med 60 m in 144 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 152 mm do globine 60 m. Metoda izvedbe je bil stacionarni nalivalni test z nalito količino 10 m³ vode. Nalivalna količina je bila 1,12 l/s, gladina podzemne vode pred testom 125,3 m in višina vodnega stolpca 18,3 m nad sondo. Med izvedbo nalivalnega testa je pri povečanem tlaku, voda po določenem času pričela hitreje odtekati, kot posledica odprtja razpok in povečanja prepustnosti.

Drugi nalivalni test je potekal dne 05.03.2018 na odseku med 149 m in 154,5 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 125,4/146 mm do globine 149 m. Nalivalna količina je bila 0,52 l/s, gladina podzemne vode pred testom je znašala 29,34 m in višina vodnega stolpca nad sondo 47,37 m. Metoda izvedbe je bila impulzni nalivalni test, ki je pokazal nizko prepustnost testiranega laporovca.

Tretji nalivalni se je izvedel dne 24.5.2018 na odseku med 86,5 m in 247,5 m v cevljenem piezometru premera 88,6/101,6 mm, po izvedenem air-liftu. Metoda izvedbe je bila stacionarni nalivalni test. Nalivala količina je bila 4,84 l/s, gladina podzemne vode pred testom 230,14 m in višina vodnega stolpca nad sondo 15,4 m. Med izvedbo stacionarnega nalivalnega testa je pri povečanem tlaku, voda po določenem času pričela hitreje odtekati, kot posledica odprtja razpok in povečanja prepustnosti.

2.9. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T2-20/17

Nalivalni poskusi so bili izvedeni kot nalivalni impulzni ali stacionarni testi. Vrtalci so morali pred izvedbo nalivalnega poskusa razceвити testiran odsek in vrtino očistiti s čisto vodo. Vodo je bila dostavljena z bližnjega vodovoda Črni Kal. Najprej so bile izvedene meritve prehodnosti vrtine in gladine podzemne vode, sledila je vgradnja tlačne sonde preko katere smo kontinuirano merili nivo vode. S pomočjo vodne črpalke, odvodnih cevi in pretokomera za spremljavo včrpane količine, smo v določenem času vrtino napolnili nad statični nivo podzemne vode. Ko se je nalivanje prekinilo smo preko tlačne sonde merili vračanje nivoja v vrtini, proti prvotnemu nivoju.

V času izvajanja vrtalnih del sta se v odprti vrtini izvedla dva nalivalna poskusa, tretji se je izvedel v cevljenem piezometru po izvedeni aktivaciji. Prvi nalivalni poskus je potekal dne 6.2.2018 na odseku med 20 m in 61 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 152 mm do globine 20 m. Metoda izvedbe je bil stacionarni nalivalni test z nalivalno količino 0,6 l/s. Gladina podzemne vode pred testom je bila 20,61 m in višina vodnega stolpca 12,90 m nad sondo.

Drugi nalivalni test je potekal dne 7.2.2018 na odseku med 20 m in 83,8 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 152 mm do globine 20 m. Metoda izvedbe je bil stacionarni nalivalni test z nalivalno količino 0,83 l/s. Gladina podzemne vode pred testom je znašala 7,89 m in višina vodnega stolpca nad sondo 19,88 m.

Tretji nalivalni se je izvedel dne 14.3.2018 na odseku med 64,7 m in 148,7 m v cevljenem piezometru premera 88,6/101,6 mm, po izvedenem air-liftu. Metoda izvedbe je bila stacionarni nalivalni test. Nalivalna količina je bila od 4,34, 2,35, 1,37, 0,51, 0,33 do končne ustaljene 0,41 l/s. Gladina podzemne vode pred testom je znašala 117,82 m in višina vodnega stolpca nad sondo 27,0 m.

2.10. Izvedba nalivalnih preizkusov v vrtini T8-1/17

Nalivalni poizkusi so bili izvedeni kot nalivalni impulzni ali stacionarni testi. Vrtalci so morali pred izvedbo nalivalnega poizkusa razceвити testiran odsek in vrtino očistiti s čisto vodo. Vodo so dostavili vrtalci z bližnjega vodovoda v Škofijah. Najprej so bile izvedene meritve prehodnosti vrtine in gladine podzemne vode, sledila je vgradnja tlačne sonde preko katere smo kontinuirano merili nivo vode. S pomočjo vodne črpalke, odvodnih cevi in pretokomera za spremljavo včrpane količine, smo v določenem času vrtino napolnili nad statični nivo podzemne vode. Ko se je nalivanje prekinilo smo preko tlačne sonde merili vračanje nivoja v vrtini proti prvotnemu nivoju.

V času izvajanja vrtalnih del so se v odprti vrtini izvedli trije nalivalni poizkusi. Prvi nalivalni poskus je potekal dne 19.04.2018 na odseku med 7,5 m in 55,15 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 125,4/146 mm do globine 7,5 m. Nalivalna količina je bila 0,01 l/s, gladina podzemne vode pred testom 13,0 m in višina vodnega stolpca nad sondo 14,05 m. Metoda izvedbe je bila impulzni nalivalni test.

Drugi nalivalni test je potekal dne 20.04.2018 na odseku med 7,5 m in 79 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 125,4/146 mm do globine 7,5 m. Nalivalna količina je bila 0,011 l/s, gladina podzemne vode pred testom 3,27 m in višina vodnega stolpca nad sondo 47,37 m. Metoda izvedbe je bila stacionarni nalivalni test. Med izvedbo nalivalnega testa je pri povečanem tlaku voda po določenem času pričela zatekati ob začasni jekleni cevi v zgornjo bolj prepustno plast preperelega laporovca.

Tretji nalivalni dne 22.4.2018 na odseku med 7,5 m in 118 m. Vrtina je bila cevljena z začasno jekleno cevjo premera 125,4/146 mm do globine 7,5 m. Nalivalna količina je bila 0,12 l/s, gladina podzemne vode pred testom 9,98 m in višina vodnega stolpca nad sondo 41,22 m. Metoda izvedbe je bila stacionarni nalivalni test. Med izvedbo nalivalnega testa je pri povečanem tlaku voda po določenem času pričela zatekati ob začasni jekleni cevi v zgornjo bolj prepustno plast preperelega laporovca.

3. OBDELAVA NALIVALNIH PREIZKUSOV

3.1. Metode obdelave nalivalnih preizkusov

Uporabljene metode obdelave nalivalnih preizkusov temeljijo na modelu Darcyvega zakona. V danih primerih in ciljanih hidrogeološki enotah, kjer imamo opravka z razpokami in drugimi strukturnimi elementi, pa imamo opravka z t.i. ne-Darcyevim tokom. Napake v obdelavi podatkov se lahko kažejo predvsem kot rezultat narave toka, ki ne sledi Darcyevemu zakonu, temveč se ob razpokah in drugih strukturnih elementih lahko pojavijo visoke hitrosti toka vode. Iz tega sledi, da navedene metode podajajo zgolj **povprečno oceno prepustnosti preizkušanih plasti**, ki se prednostno uporabijo za oceno dotokov podzemne vode. Uporabljene metode obdelave nalivalnih preizkusov temeljijo na naslednjih predpostavkah:

- vodonosnik je zaprt ali odprt,
- stacionarna gladina podzemne vode se nahaja nad testiranim odsekom,
- dotok vode v hidrogeološko formacijo ob vsakem času sorazmeren s koeficientom prepustnosti in s spreminjanjem hidravličnega nivoja v vodnjaku,
- vodonosnik je homogen in izotropen,
- voda in formacija sta nestisljivi,
- ni hidravličnih izgub,
- Pretok nalivanja je v času izvajanja stacionarnega preizkusa enakomeren.

Nalivalni preizkusi so bili obdelani po različnih metodah: Hvorslev, Lefranc, Cooper, Jacob in Theis.

Kadar se gladina podzemne vode dviga v perforiranem filtrskem odseku oziroma odprtem odseku vrtine se vrednost faktorja oblike (F) spreminja med naraščanjem gladine. Zato je potrebno faktor oblike ponderirati. Vrednost koeficienta prepustnosti izračunanega s to poenostavitvijo je manj točna, kot pa če bi razmere v vrtinah ustrezale metodi Hvorsleva.

V vseh primerih, kjer smo ponderirali faktor oblike smo izračunali tudi efektivni premer (D_e) nalivalnega odseka. Voda se je v vseh primerih izvedbe nalivalnih preizkusov, kjer ni bilo vgradnje packerja, dvigovala med steno vrtine in Wireline cevitivijo. Pri izračunih efektivnega premera smo upoštevali debelino Wireline cevitve in dolžino te cevitve glede na celoten nalivani odsek.

Tabela 1: Rezultati obdelave koeficientov prepustnosti.

Vrtina	Testiran odsek	Testirana litologija	Koeficient prepustnosti						
			Jacob	Theis	Hvorslev		Lefranc	Cooper	Srednja
					1	2			
T1-12/17	185,00 - 208,00	apnenec	4,89E-08						4,89E-08
T1-12/17	60,00 - 125,20	apnenec	8,51E-07	3,51E-07					5,46E-07
T1-12/17	60,00 - 125,20	apnenec						3,52E-07	3,65E-07
T1-12/17	157,35 - 247,35	apnenec						1,36E-08	1,57E-08
T1-14/17	141,00 - 149,80	apnenec						1,20E-07	1,38E-07
T1-14/17	141,00 - 172,00	apnenec	3,15E-07	2,07E-07				3,99E-07	3,26E-07
T1-14/17	141,00 - 172,00	apnenec	2,16E-06	6,23E-06				1,59E-06	2,25E-06
T2-19/17	149,00 - 154,50	laporovec							1,16E-09
T2-19/17	60,00 - 144,00	apnenec in laporovec	6,36E-08	6,37E-08					6,36E-08
T2-19/17	161,50 - 248,00	laporovec in apnenec		1,20E-07				1,24E-07	1,90E-07
T2-20/17	20,00 - 61,80	apnenec	2,02E-06	1,36E-06					1,66E-06
T2-20/17	20,00 - 83,30	apnenec		1,17E-06					1,17E-06
T2-20/17	64,70 - 148,70	apnenec in laporovec	1,37E-07	2,10E-07					1,70E-07
T8-1/17	7,50 - 16,00	peščenjak laporovec						3,18E-07	3,29E-07
T8-1/17	7,50 - 79,00	peščenjak laporovec	1,98E-08	1,11E-08					1,48E-08
T8-1/17	7,50 - 118,00	peščenjak laporovec	1,46E-07						1,46E-07
T1-13/17	67,50 - 115,00	Peščena glina in apnenec			2,55E-06	1,44E-06	4,66E-07		2,00E-06
T1-13/17	197,50 - 240,00	Apnenec; jama med 203 in 207 m; 233,8 – jamski sedimenti			2,50E-08		6,10E-09		2,50E-08
T1-13/17	cevljena vrtna (332 m)	Apnenec in jamski sedimenti med 233,8 in 274,2 m			2,34E-07		1,12E-07		2,34E-07
T1-15/17	43,00 - 94,40	Koluvij, lapor in meljevec			1,46E-06	5,76E-09	9,85E-07		7,33E-07
T1-15/17	78,30 - 131,15	Koluvij, lapor in meljevec			1,10E-06	7,97E-09	7,94E-07		5,54E-07
T1-15/17	cevljena vrtna (199 m)	Koluvij, lapor in meljevec			2,11E-08	6,92E-09	9,84E-09		1,40E-08
T2-16/17	25,60 - 73,60	Peščenjak in glinavec			1,19E-09		1,88E-08		1,19E-09

T2-16/17	127,60 - 175,60	Peščenjak in glinavec	(F/E)				3,91E-10		3,91E-10	1,08E-09		3,91E-10
T2-16/17	odprta vrtna (250 m)	Peščenjak in glinavec	(F/E)				6,86E-11		6,86E-11	2,69E-10		6,86E-11
T2-17/17	31,40 - 79,40	Laporovec	PP/E				8,81E-09	3,12E-09	5,97E-09	1,38E-08		5,97E-09
T2-17/17	127,60 - 175,60	Lapornat apnenec in apnenec	ANA/E-PP/E				8,43E-09	1,40E-08	1,12E-08	1,01E-08		1,12E-08
T2-17/17	cevljena vrtna (150 m)	Lapor, lapornat apnenec in apnenec	PP/E (do 120 m), ANA/E-PP/E in ANA/E (120 m naprej)				7,96E-09		7,96E-09	5,00E-09		7,96E-09
T2-18/17	132,10 - 139,50	Apnenec	ANA/E				6,66E-06	2,34E-06	4,50E-06	1,88E-06		4,50E-06
T2-18/17	140,6 - 171,0	Apnenec	ANA/E				6,56E-06		6,56E-06	7,78E-06		6,56E-06
T2-18/17	cevljena vrtna (201 m)	Apnenec	ANA/E				3,27E-06	3,01E-07	1,79E-06	3,92E-06		1,79E-06

Spodnja tabela (Tabela 2) podaja rezultate vseh opravljenih nalivalnih poizkusov, ki so bili opravljeni tako v prejšnji kot v tej fazi preiskav. Pri tem je podano leto izvedbe preiskav, vrtina, na katero se rezultati nanašajo, litologija testiranega odseka ter merodajni koeficient prepustnosti glede na obdelavo (podano v ločenem poročilu).

Tabela 2: Rezultati koeficientov prepustnosti iz opravljenih nalivalnih poizkusov na območju predorov T1, T2 in T8.

Leto	Vrtina	Testirana litologija	K [m/s]
2018	T1-12	TF1/Pc	4,9E-08
2018	T1-12	ANA/E	5,5E-07
2018	T1-12	ANA/E	3,7E-07
2018	T1-12	TF1/Pc - TF2/Pc	1,6E-08
2018	T1-14	TF1/Pc	1,4E-07
2018	T1-14	TF1/Pc	3,3E-07
2018	T1-14	TF1/Pc	2,3E-06
2018	T2-19	PP/E	1,2E-09
2018	T2-19	ANA/E	6,4E-08
2018	T2-19	ANA/E	1,9E-07
2018	T2-20	ANA/E	1,7E-06
2018	T2-20	ANA/E	1,2E-06
2018	T2-20	ANA/E	1,7E-07
2018	T8-1	F/E	3,3E-07
2018	T8-1	F/E	1,5E-08
2018	T8-1	F/E	1,5E-07
2018	T1-13	ANA/E	1,2E-06
2018	T1-13	ANA/E	1,2E-08
2018	T1-13	ANA/E	1,6E-07
2018	T1-15	PP/E	1,2E-06
2018	T1-15	PP/E	9,3E-07
2018	T1-15	PP/E	1,4E-08*
2018	T2-16	F/E	4,7E-09
2018	T2-16	F/E	6,5E-10
2018	T2-16	F/E	1,4E-10*
2018	T2-17	PP/E	7,2E-09
2018	T2-17	ANA/E	1,1E-08
2018	T2-17	ANA/E	6,3E-09
2018	T2-18	ANA/E	3,1E-06
2018	T2-18	ANA/E	7,1E-06
2018	T2-18	ANA/E	3,6E-06
2010	T2-7	F/E	8,0E-07
2010	T2-7	F/E	4,3E-07
2010	T2-8	PP/E	1,3E-07
2010	T2-8	PP/E	3,7E-07
2010	T2-11	ANA/E	5,8E-05
2010	T2-11	ANA/E	8,2E-06
2010	T2-13	ANA/E	1,6E-07
2010	T2-13	ANA/E	7,2E-08
2010	T2-15	ANA/E	2,0E-07
2010	T2-15	PP/E	4,1E-08
2010	T1-4	Lib	4,5E-04
2010	T1-7	TF1/Pc	1,7E-08

Leto	Vrtina	Testirana litologija	K [m/s]
2010	T1-8	ANA/E	4,6E-09
2010	T1-9	TF1/Pc	4,0E-06
2010	T1-10	ANA/E	1,3E-05
2010	T1-10	ANA/E	1,9E-06
2010	T1-10	ANA/E	1,1E-06

Za interpretacijo nestacionarnih nalivalnih preizkusov, kjer smo glede na potek upadanja gladine vode interpretirali dve premici, smo izračunali povprečje izračunane prepustnosti za obe premici. Na podlagi rezultatov obdelave nalivalnih preizkusov podajamo ocenjene vrednosti koeficientov prepustnosti glede na različne preizkušane odseke.

Najvišje vrednosti koeficienta prepustnosti se kažejo v vrtini T1-15/17. Iz grafične obdelave preizkusa izhaja, da smo imeli opravka s hitrejšim ponikanjem v zgornjem delu vrtine (do 20,5 m pod ustjem vrtine), kje se nahajajo plasti pobočnih nanosov. Ločeno smo zato interpretirali odsek 0 – 20,5 m, kjer se pojavlja pobočno nasutje. Izračunana prepustnost tega odseka znaša $1,46 \times 10^{-6}$ m/s, vendar pa je potrebno upoštevati, da izračunana vrednost izhaja iz dobljenih povprečnih vrednosti prepustnosti za nalivalna odseka globine 94,4 m in 131,15 m. Pri izračunu je privzeta bistveno večje dolžina nalivanega odseka kot je dejanska debelina pobočnega nasutja, zato je ocenjujemo, da je prepustnost tega nasutja bistveno višja, lahko tudi za dekada. Podobno velja tudi za preostala odseka v vrtini T1-15/17, kjer izračunane nizke vrednosti prepustnosti ($5,76 \times 10^{-9}$ - $7,97 \times 10^{-9}$ m/s) veljajo brez upoštevanja hitrega ponikanja v zgornjem delu vrtine. Posledično lahko pri omenjenih odsekih računamo z nekoliko višjimi prepustnostmi, kot jih dejansko kažejo izračuni.

Heterogeno polje prepustnosti lahko opazujemo tudi v primeru vrtine T1-13/17. Boljša prepustnost se kaže v zgornjem odseku vrtine do 115 m. V tem odseku je vrtina navrtala zakrasel in razpokan apnenec, kjer zato prepustnost ustreza srednji prepustnosti med $1,44 \times 10^{-6}$ m/s in $2,55 \times 10^{-6}$ m/s. V odseku med 197,50 - 240,00 so prepustnosti že bistveno slabše (med $2,50 \times 10^{-8}$ m/s in $6,10 \times 10^{-9}$ m/s), saj je tudi apnenec bolj kompakten, kraške jame, ki se pojavljajo v tem delu pa so zapolnjene s zelo slabo prepustnimi janskimi sedimenti. Srednjo prepustnost lahko opazujemo v vrtini T2-18/17, kjer je vrtina navrtala razmeroma homogene plasti plastovitega apnenca (ANA/E). Prepustnost teh plasti lahko opredelimo s povprečno vrednostjo $4,09 \times 10^{-6}$ m/s.

V preostalih vrtinah pa obdelava nalivalnih preizkusov kaže na izrazito slabe do zelo slabe prepustnosti. Še posebej slabo prepustne so plasti peščenjaka in glinavca, ki smo jih preizkušali v vrtini T2-16/17. Tudi v tej vrtini so prepustnosti izrazito nizke in v vseh izračunih kažejo na nižjo prepustnost reda velikosti med 1×10^{-8} m/s in 1×10^{-11} m/s. Prav tako slabe prepustnosti lahko privzamemo tudi za nalivane odseke v vrtini T2-17/18, kjer je prepustnost v vseh primerih na intervalu med 1×10^{-8} m/s in 1×10^{-9} m/s. V tem primeru so bili obravnavani odseki, ki vključujejo plasti laporovca, lapornatega apnenca in apnenca.

4. SKLEP

Pri interpretaciji dobljenih vrednosti koeficienta vodoprepustnosti je potrebno upoštevati, da so uporabljene in-situ metode izračuna prepustnosti zelo robustne, kar bistveno zmanjša zanesljivost dobljenih vrednosti za nizke prepustnosti. Že prepustnosti reda velikosti 1×10^{-8} m/s so tako nizke, da je tok podzemne vode v takšnih plasteh že praktično zanemarljiv. Za plasti, ki smo jih preizkušali z nalivalnimi preizkusi je značilno, da se voda v teh plasteh pretaka in zadržuje v majhnih razpokah in strukturnih elementih, ki se med vrstalnimi deli lahko povsem zapolnijo z izplačnim medijem. Slednje pa lahko bistveno vpliva na izračun prepustnosti plasti.

Iz obdelave nalivalnih preizkusov lahko zaključimo, da smo imeli v preizkušanih vrtnah opravka s slabo prepustnimi plastmi. Slaba prepustnost velja tako za prehodne plasti (PP/E), kot tudi flišne plasti (F/E), izjemoma pa za plasti ANA/E. Zaradi negotovosti v izračunu koeficientov prepustnosti ocenjujemo, da v primeru prehodnih in flišnih plasti lahko računamo s prepustnostjo $K = 1 \times 10^{-7}$ m/s. Višje prepustnosti se kažejo za pobočno nasutje, v katerega pa predor ne bo posegel.

5. VIRI IN LITERATURA

BOUWER, H. 1989: The Bouwer and Rice Slug Test – An Update. Ground Water. 27/3: 304 – 309.

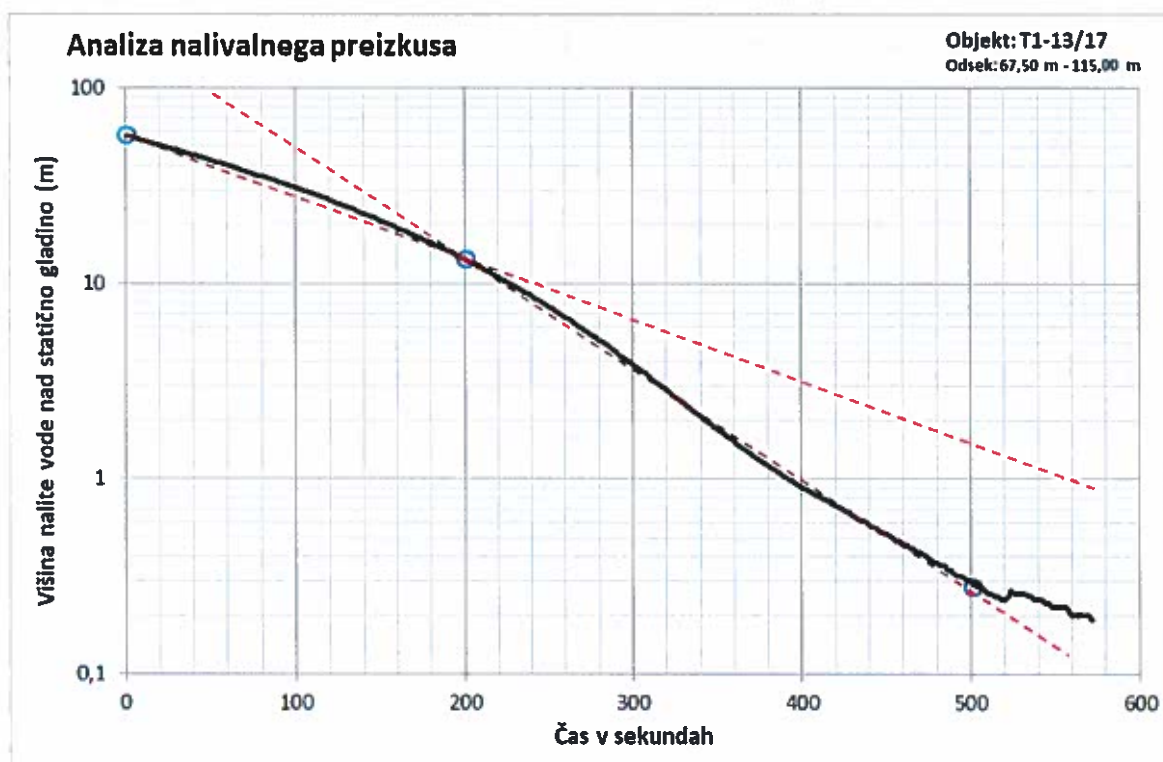
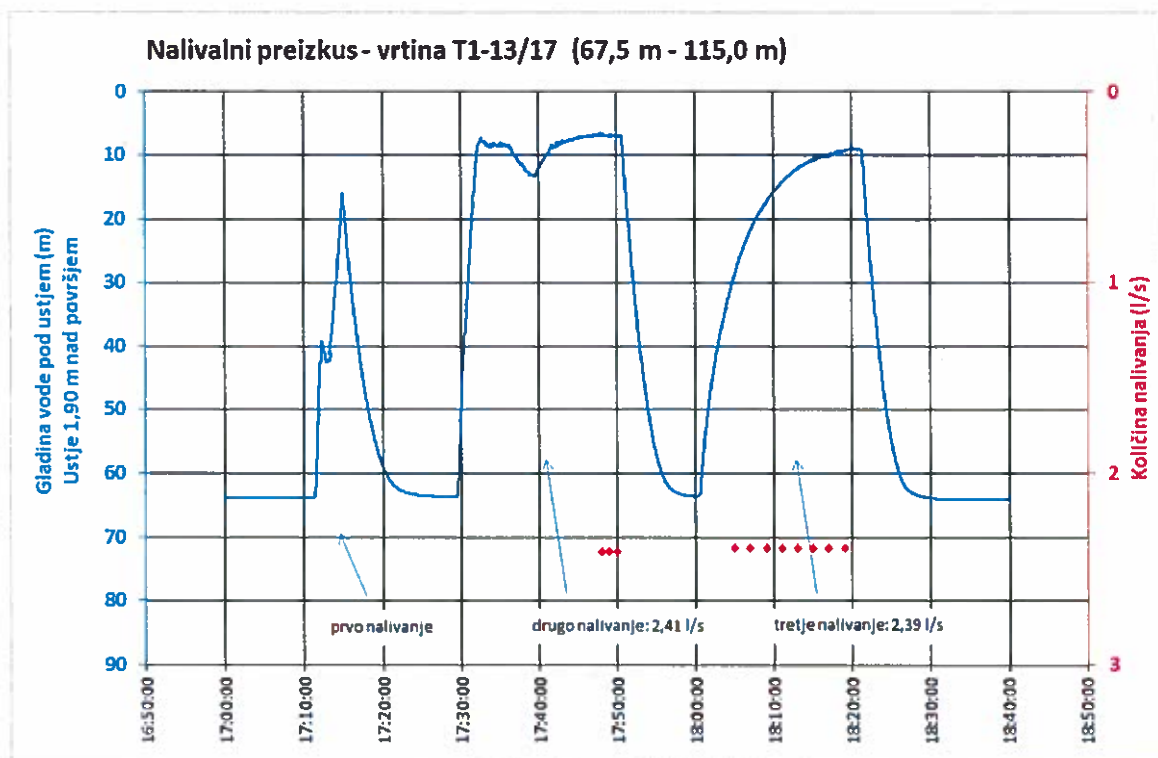
BREŇČIČ, M. 2011: Praktični napotki za ugotavljanje ponikalnih sposobnosti tal. Geologija (Ljubljana). 54/1: 65-80.

CHAPUIS, R. P. 1989: Shape factors for Permeability tests in boreholes and piezometers. Ground Water. 27/5: 647-653.

PRESTOR, J., KLASINC, M., BOLE, Z., BENČINA, D. 2012: Hidrogeološko poročilo o izvedbi nalivalnih poizkusov v raziskovalnih vrtnah T1-4/10, T1-7/10, T1-8/10, T1-9/10 in T1-10/10, na območju predvidenega predora T1, PO RECENZIJ, GeoZS, 1.3.2012, arh.št. K-II-30 d/c-46/1002-24

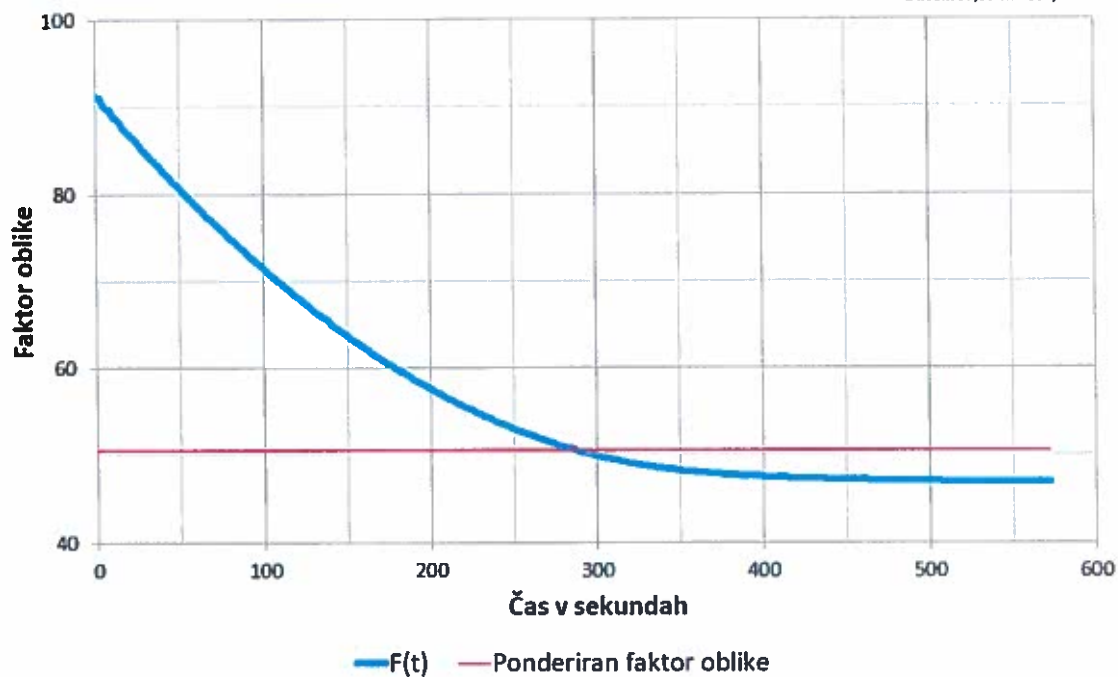
6. PRILOGA

Potek in grafična obdelava nalivalnih preizkusov v posameznih vrtnah.

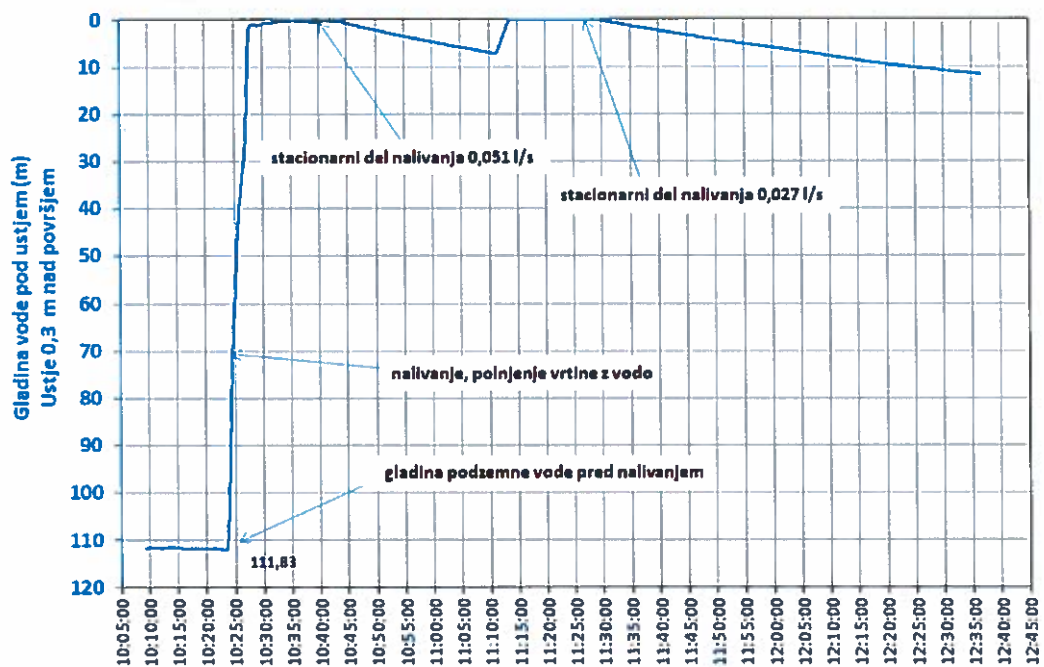


Interpretacija faktorja oblike

Objekt: T1-13/17
Odsek: 67,50 m - 115,00 m



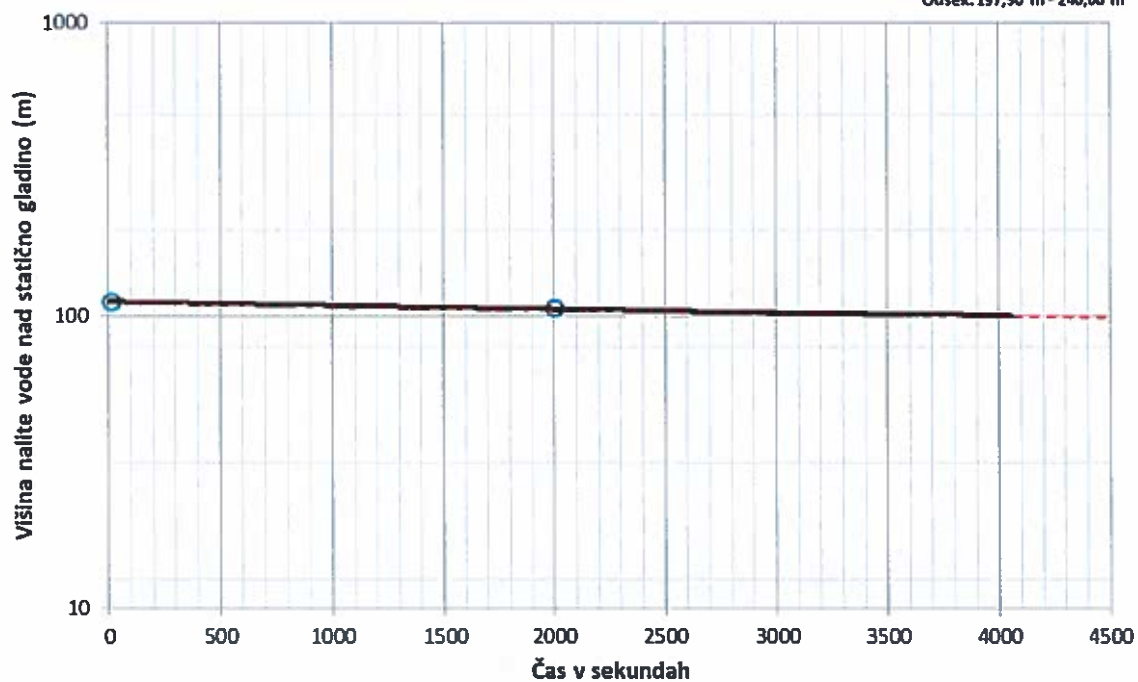
Nalivalni preizkus - vrtina T1-13 (odsek 197,5 - 240,0 m)



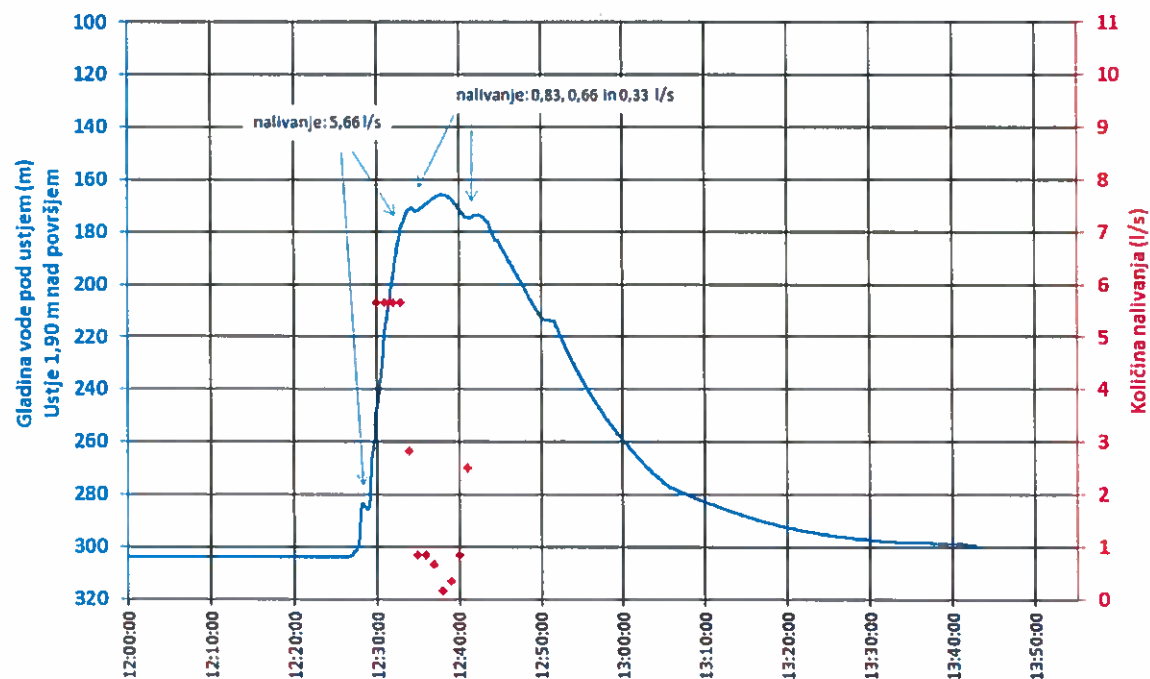
Analiza nalivalnega preizkusa

Objekt: T1-13/17

Odsek: 197,50 m - 240,00 m

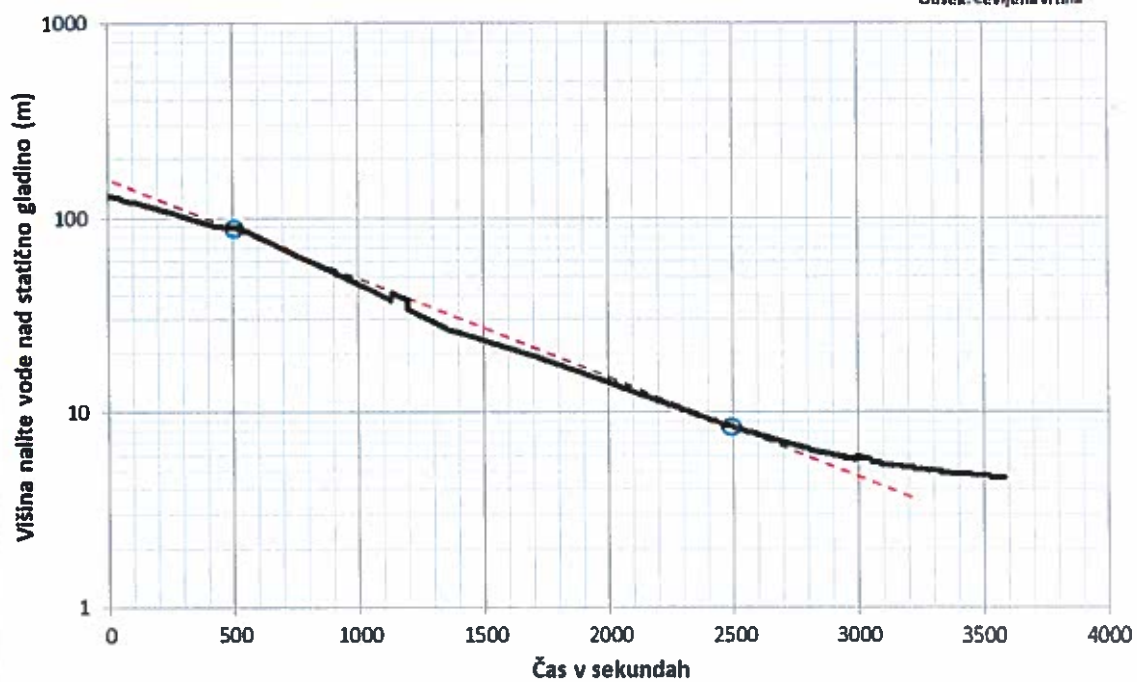


Nalivalni preizkus - vrtina T1-13/17 (zacevljena vrtina)



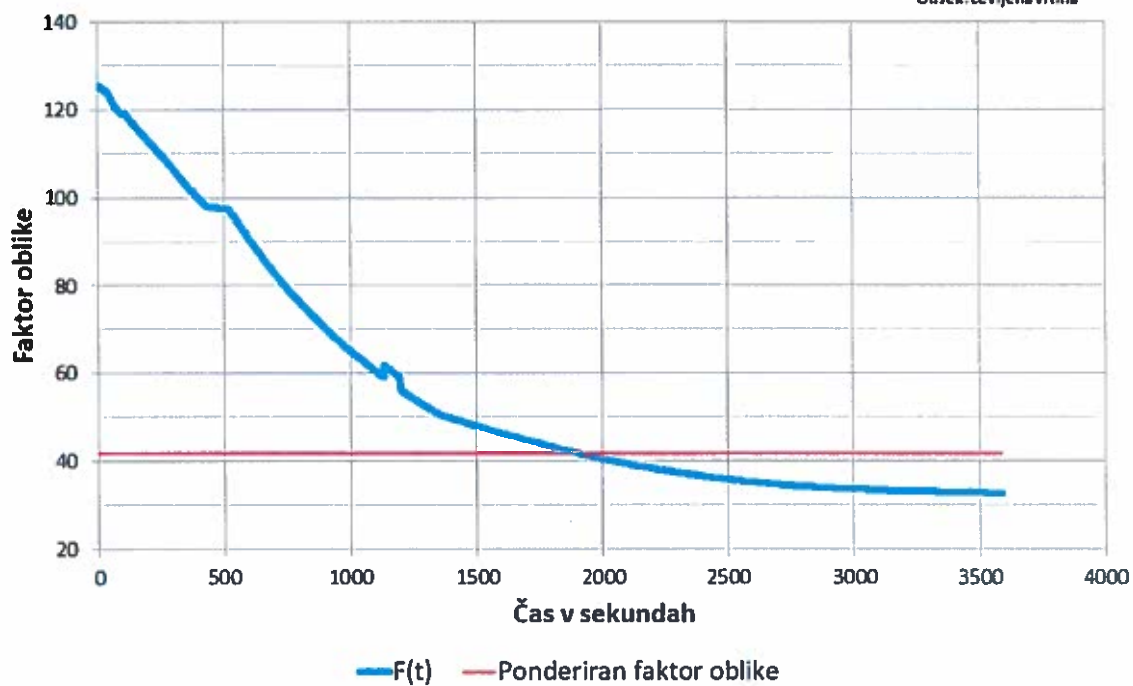
Analiza nalivalnega preizkusa

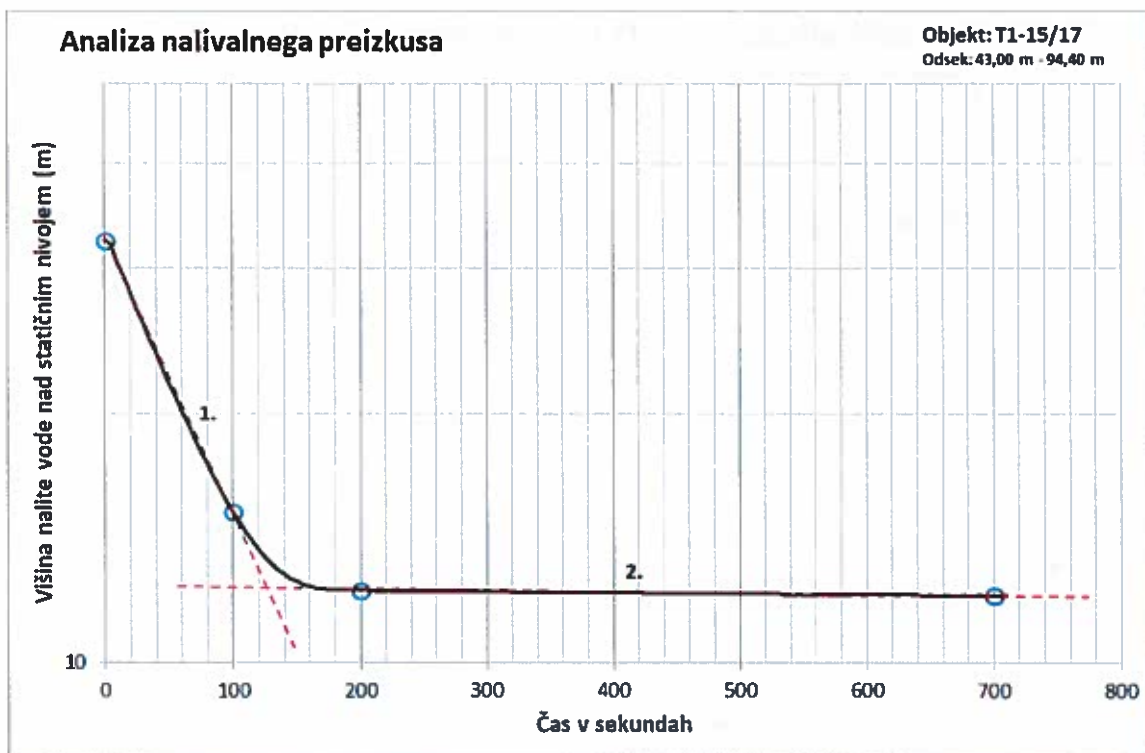
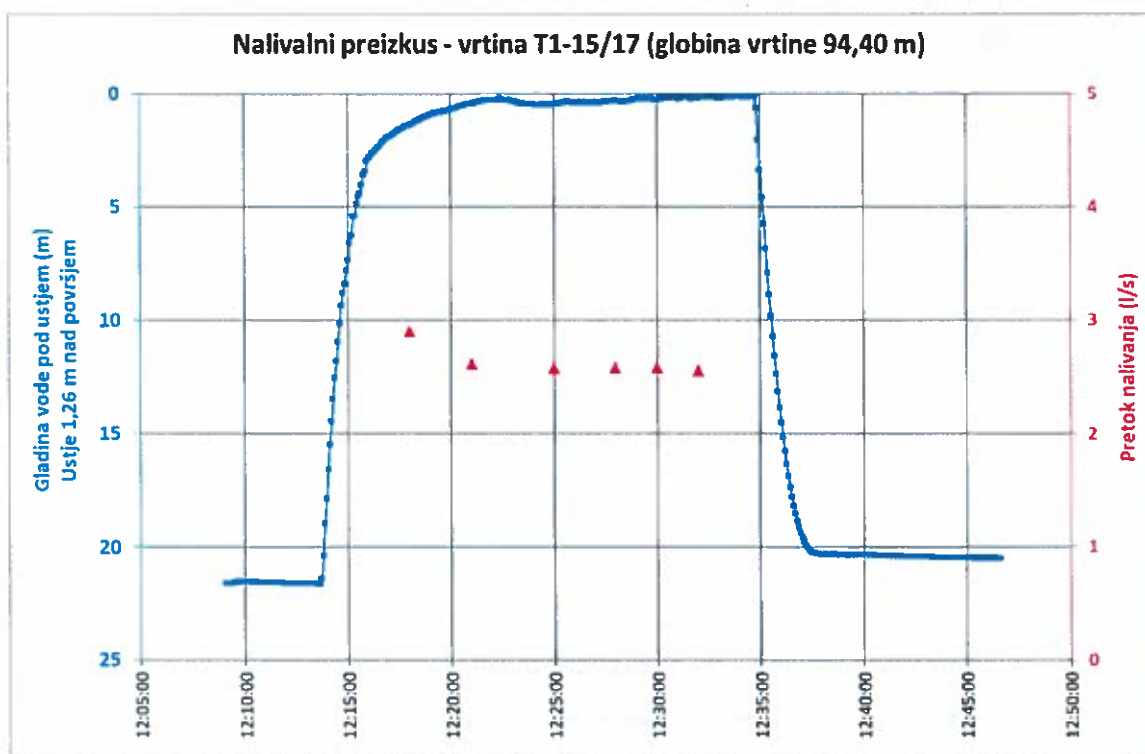
Objekt: T1-13/17
Odsek: Čevljena vrtina

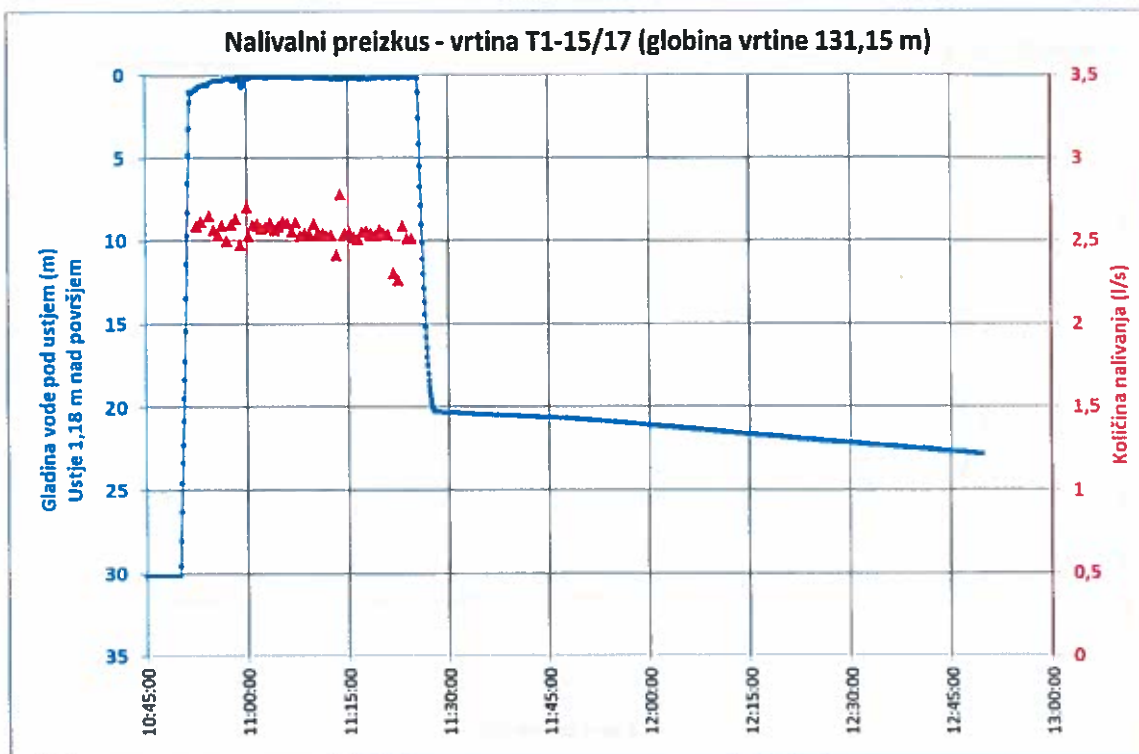
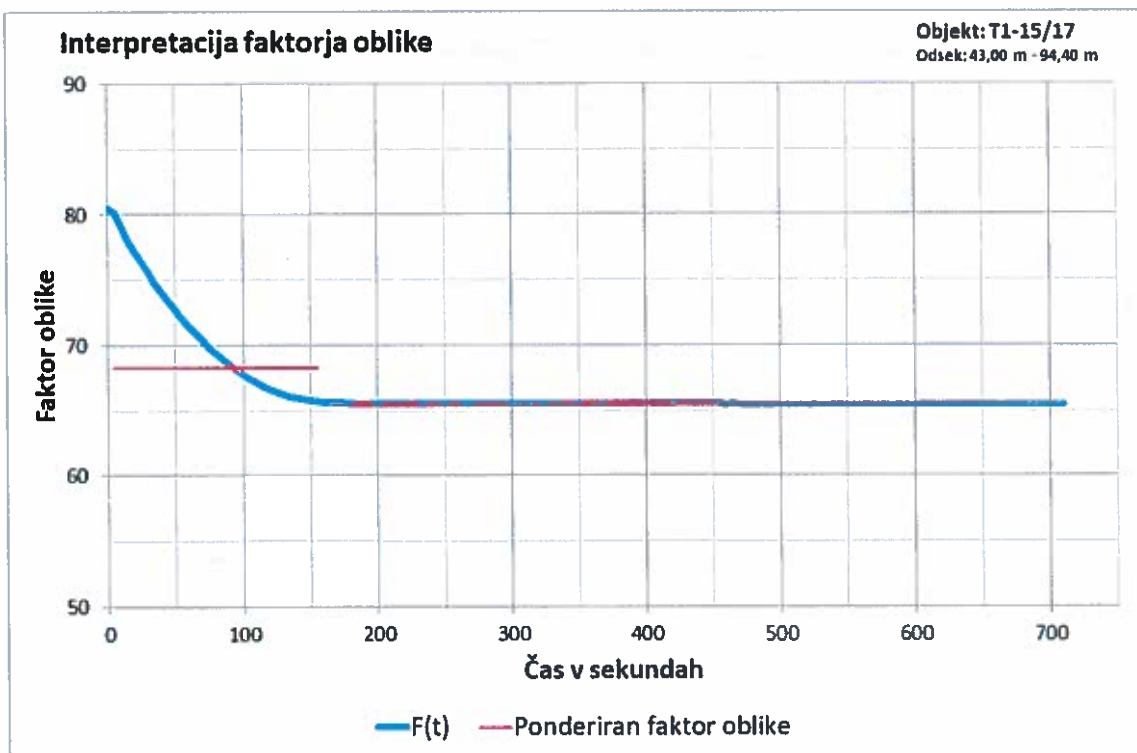


Interpretacija faktorja oblike

Objekt: T1-13/17
Odsek: čevljena vrtina

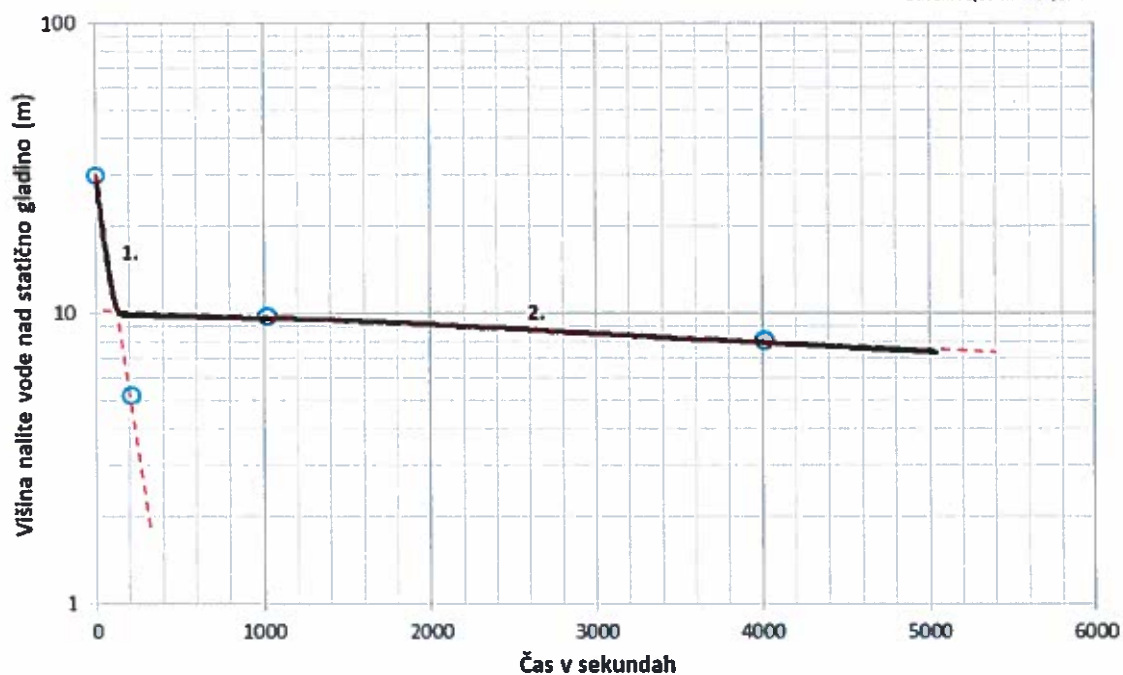






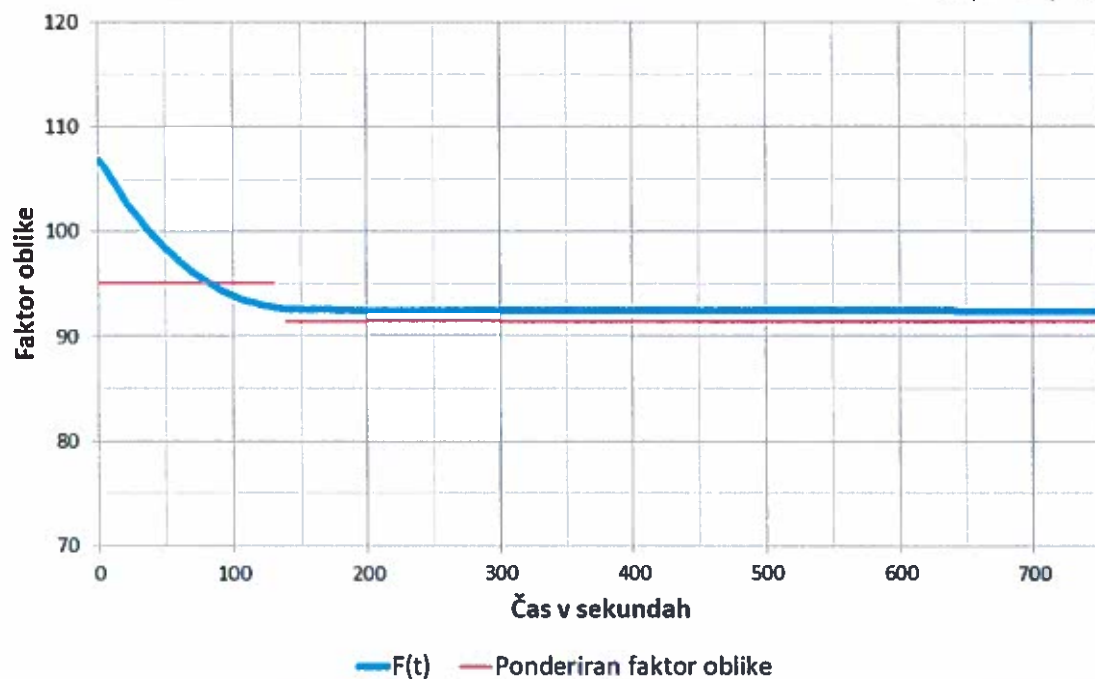
Analiza nalivalnega preizkusa

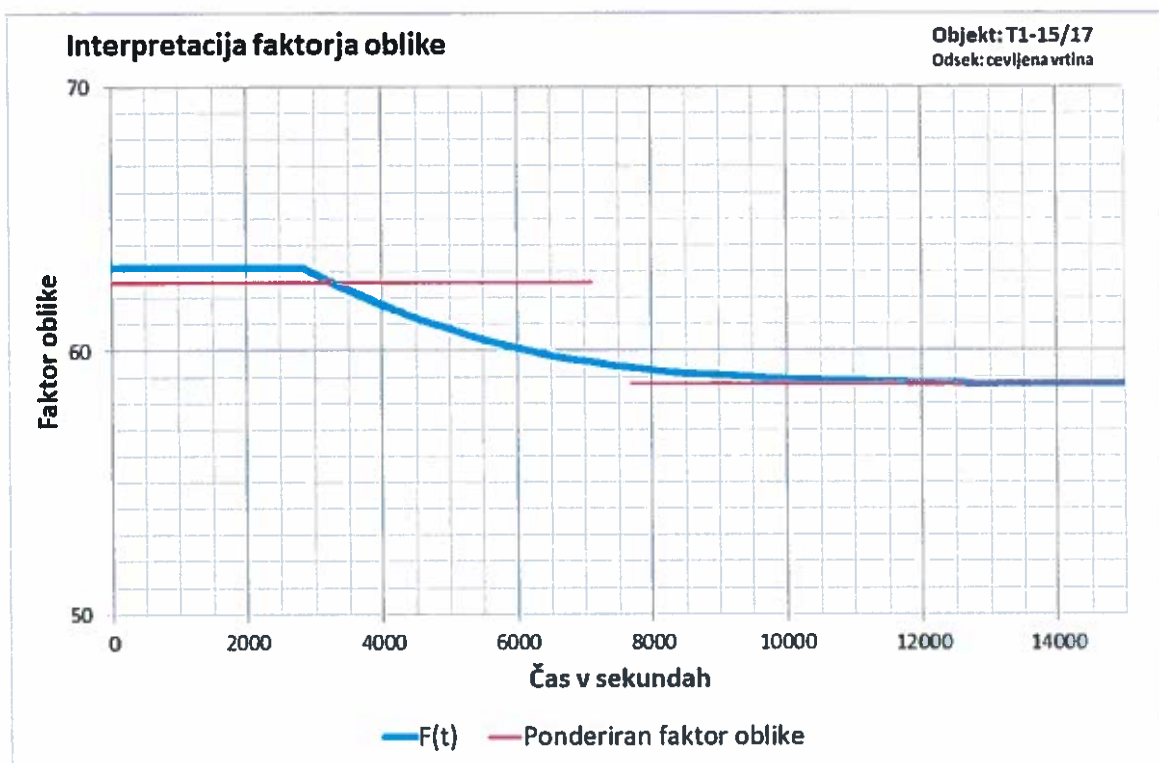
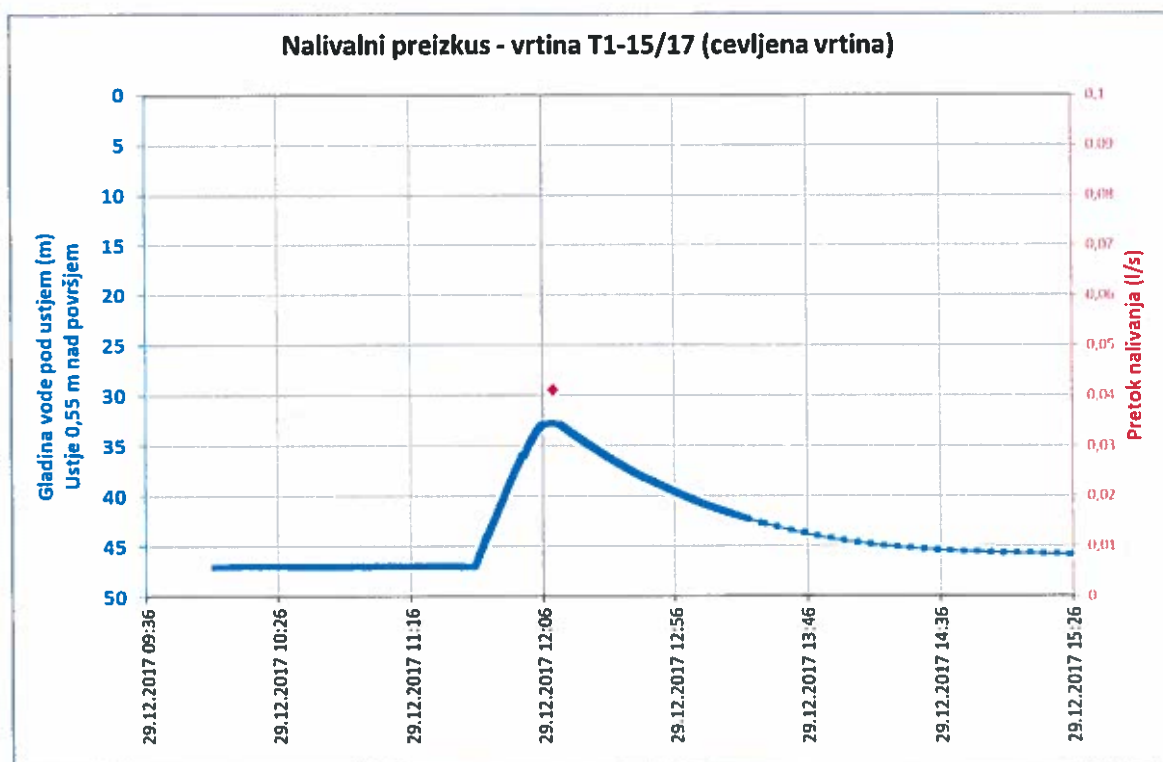
Objekt: T1-15/17
Odsek: 78,30 m - 131,15 m



Interpretacija faktorja oblike

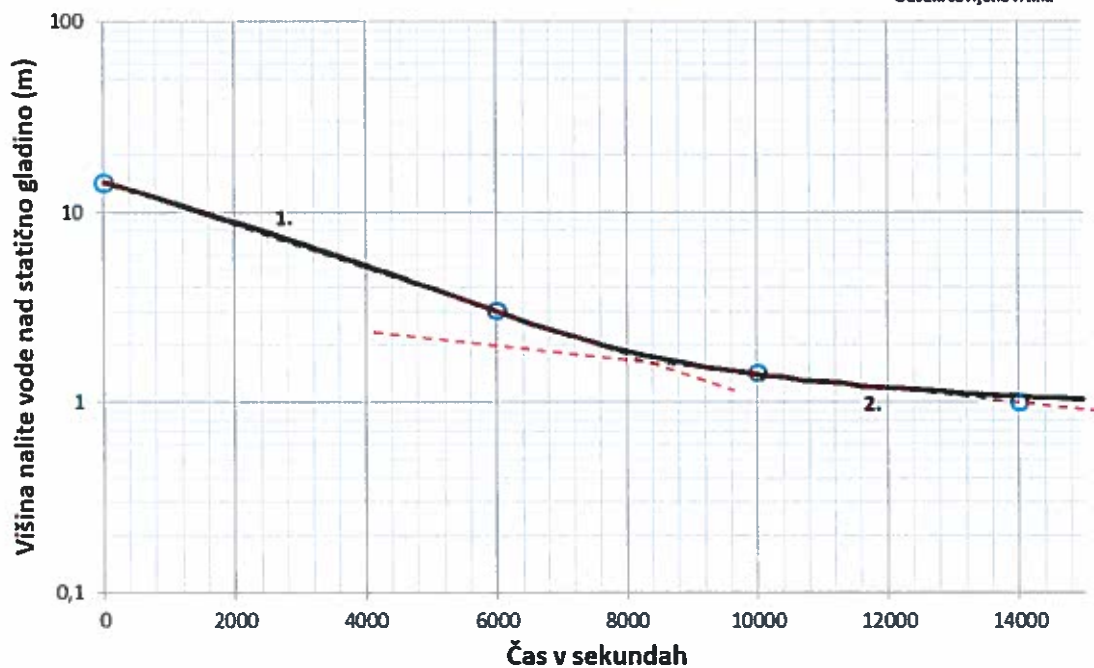
Objekt: T1-15/17
Odsek: 78,30 m - 131,15 m



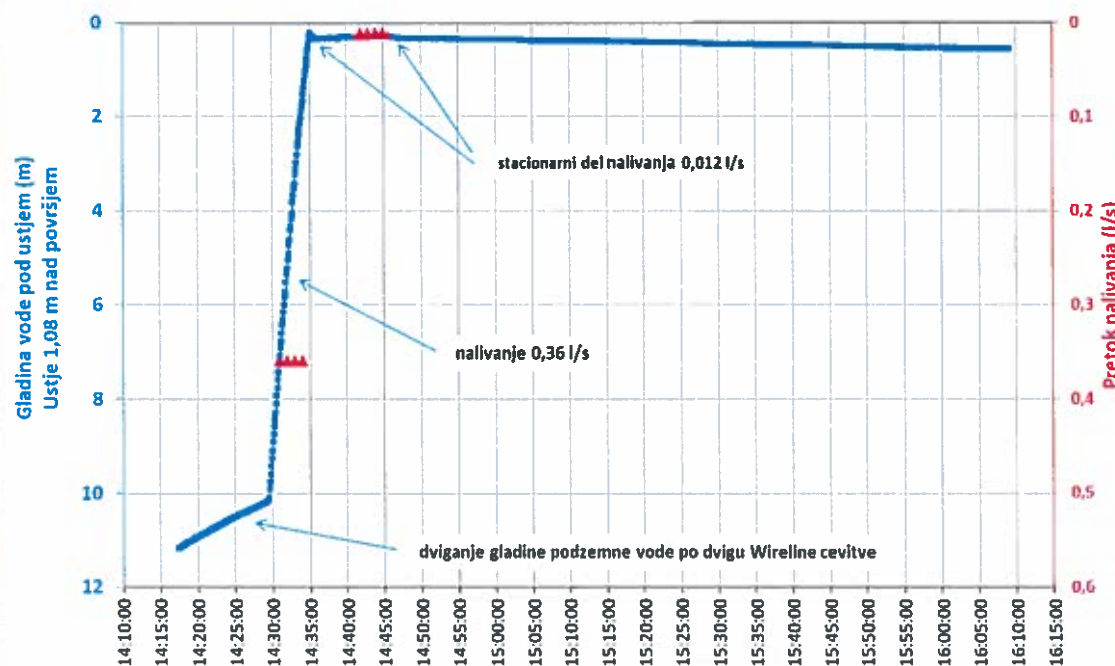


Analiza nalivalnega preizkusa

Objekt: T1-15/17
Odsek: cevijena vrtina

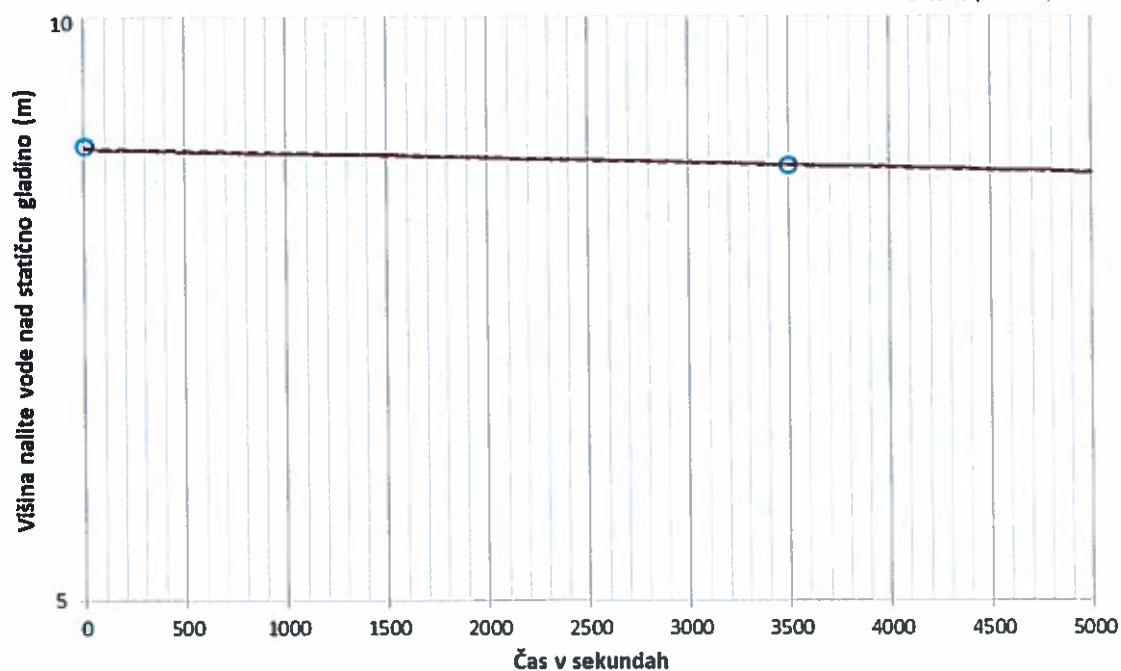


Nalivalni preizkus - vrtina T2-16/17 (globina vrtine 73,60 m)



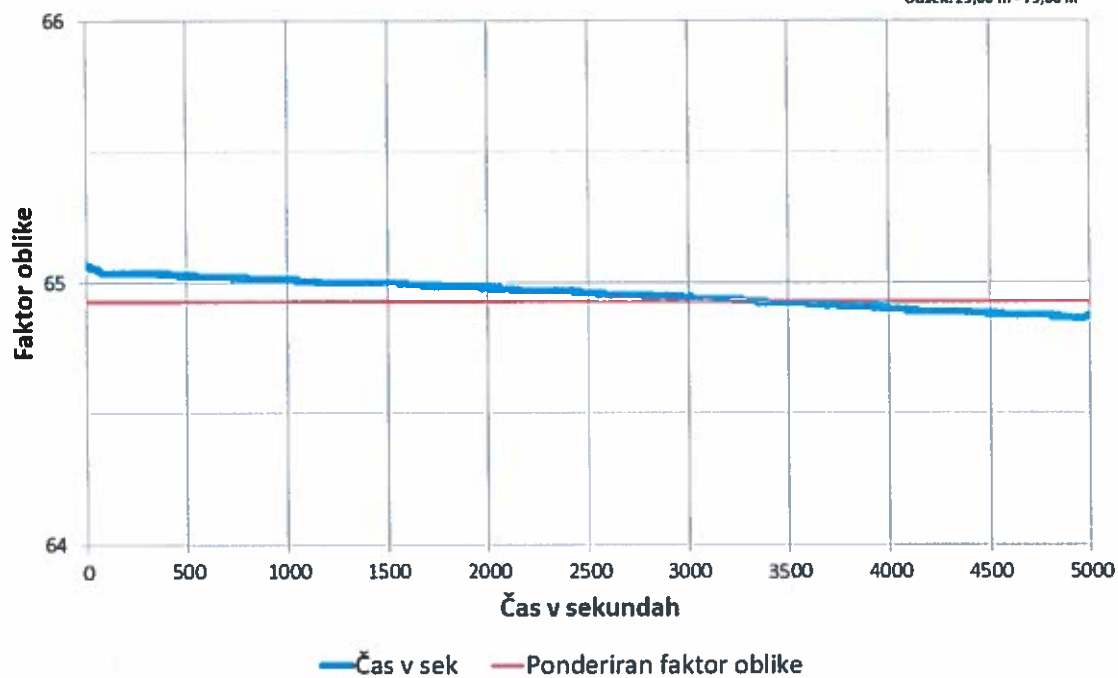
Analiza nalivalnega preizkusa

Objekt: T2-16/17
Odsek: 25,60 m - 73,60 m

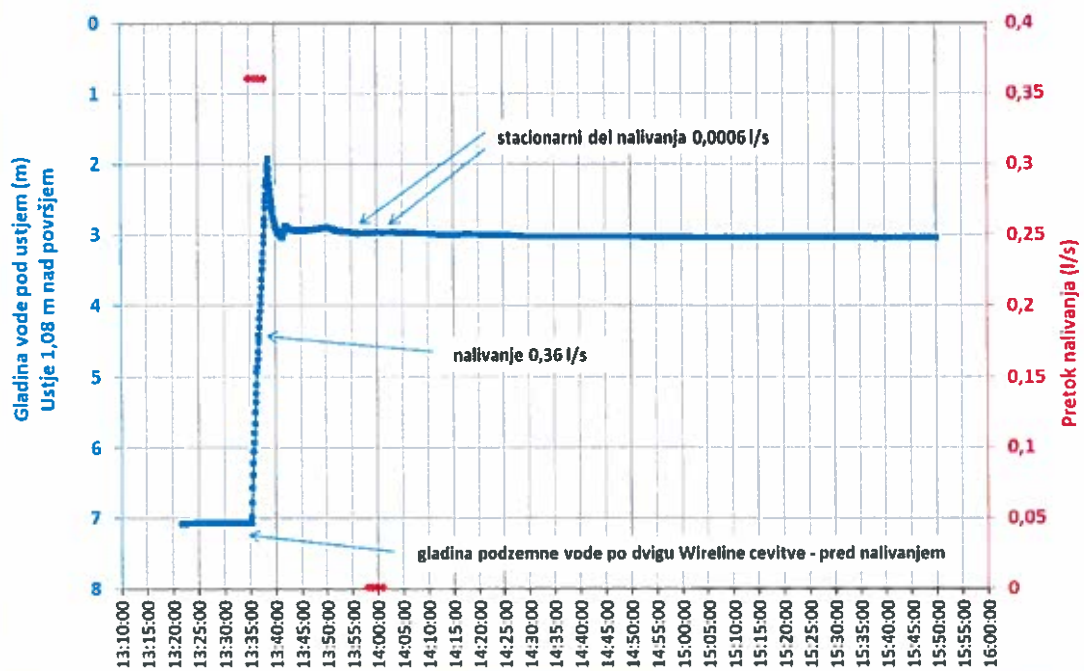


Interpretacija faktorja oblike

Objekt: T2-16/17
Odsek: 25,60 m - 73,60 m

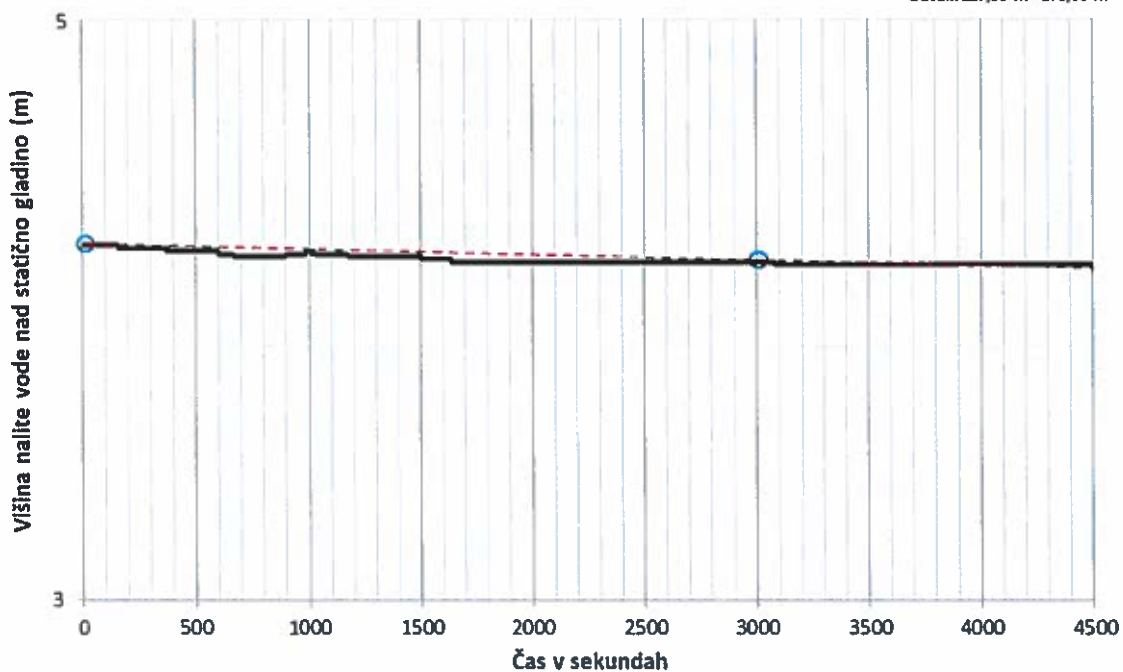


Nalivalni preizkus - vrtina T2-16/17 (globina vrtine 175,60 m)



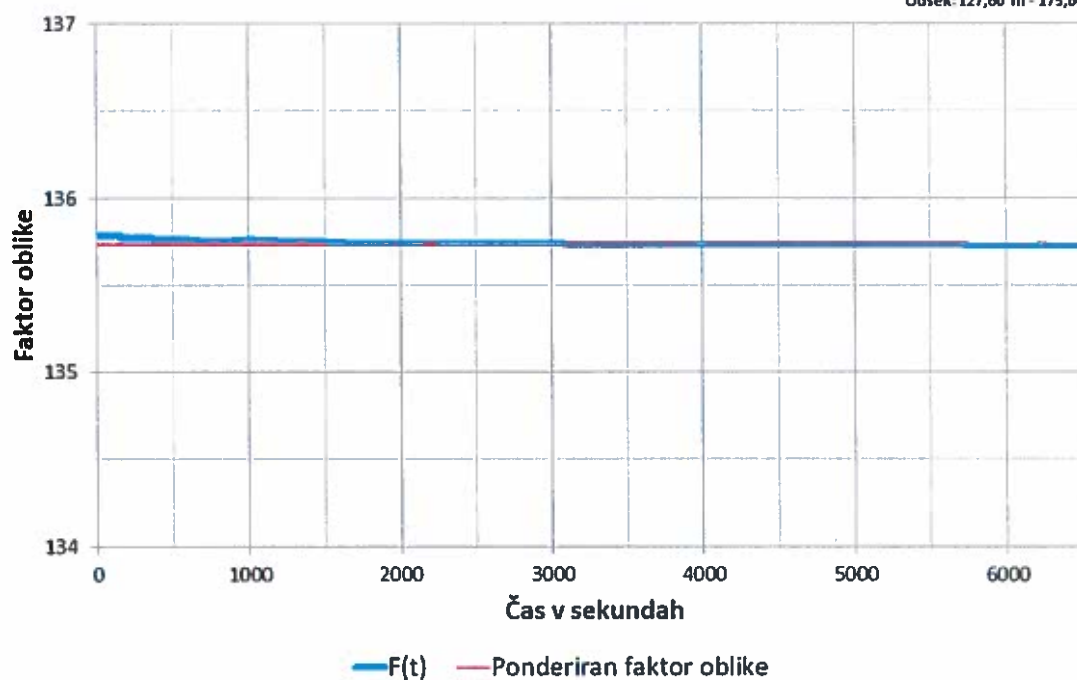
Analiza nalivalnega preizkusa

Objekt: T2-16/17
Odsek: 127,60 m - 175,60 m

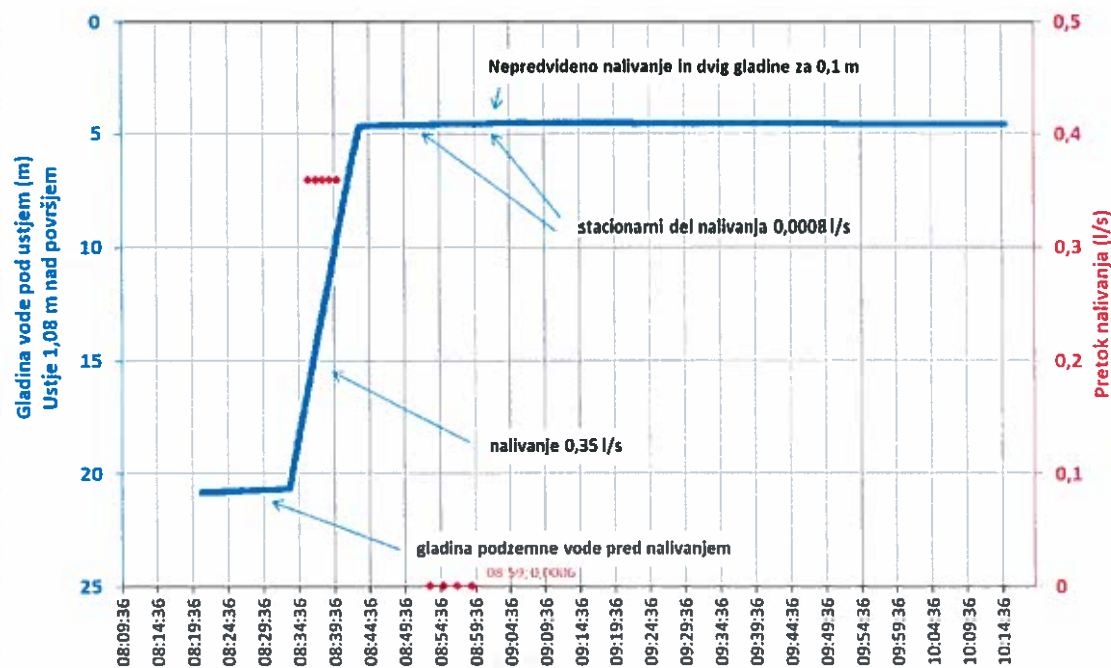


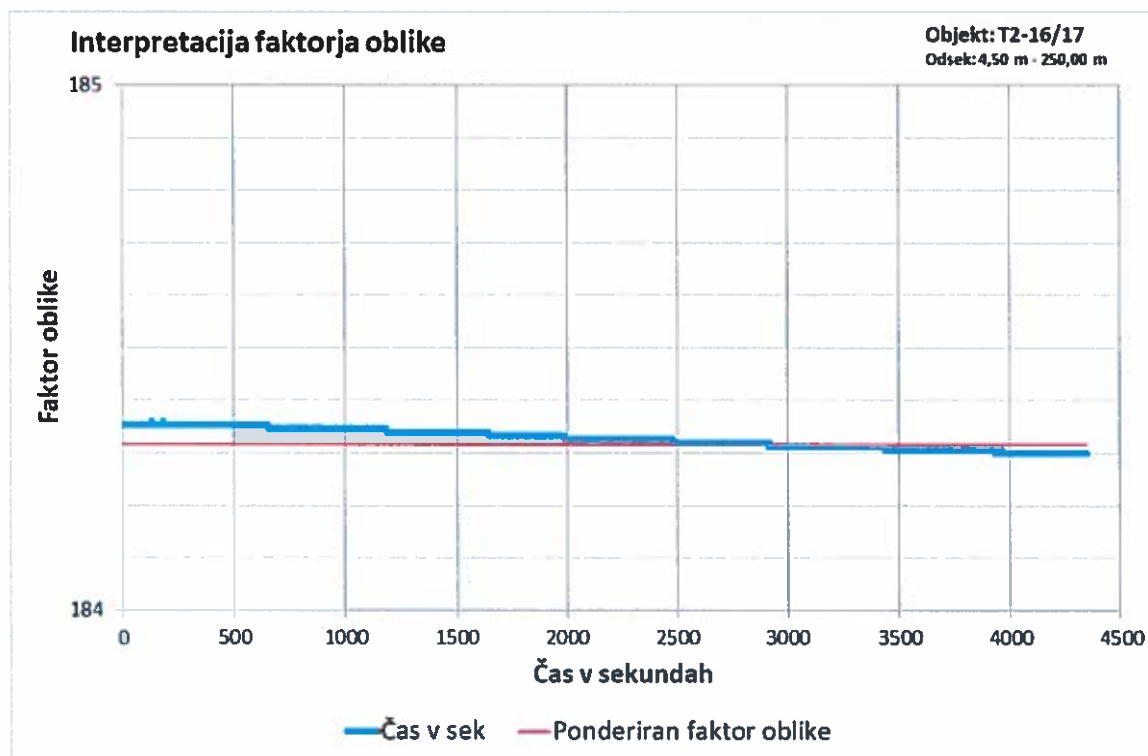
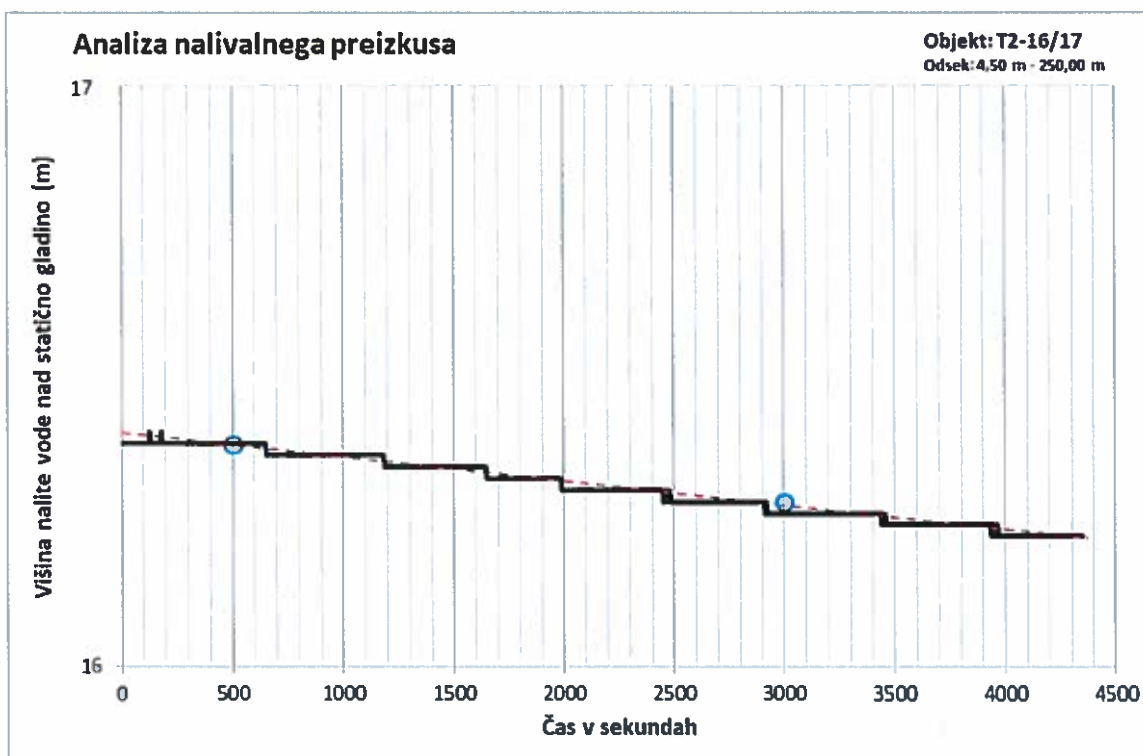
Interpretacija faktorja oblike

Objekt: T2-16/17
Odsek: 127,60 m - 175,60 m

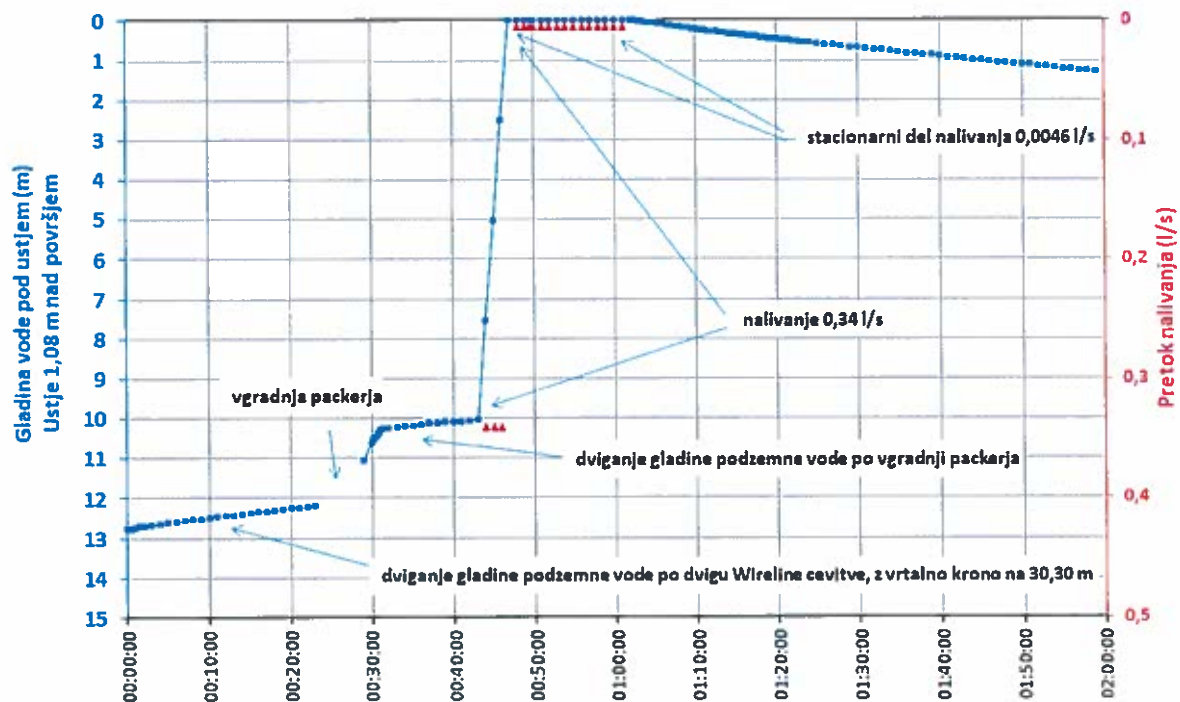


Nalivalni preizkus - vrtina T2-16/17 (globina vrtine 250 m)



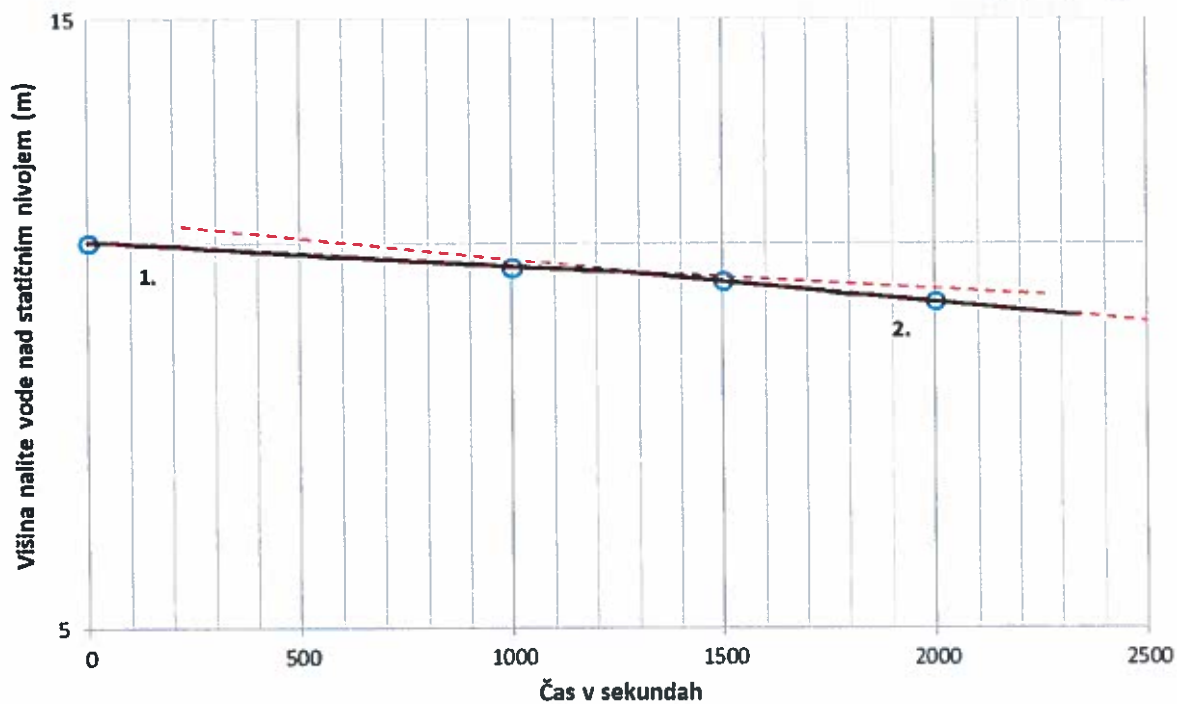


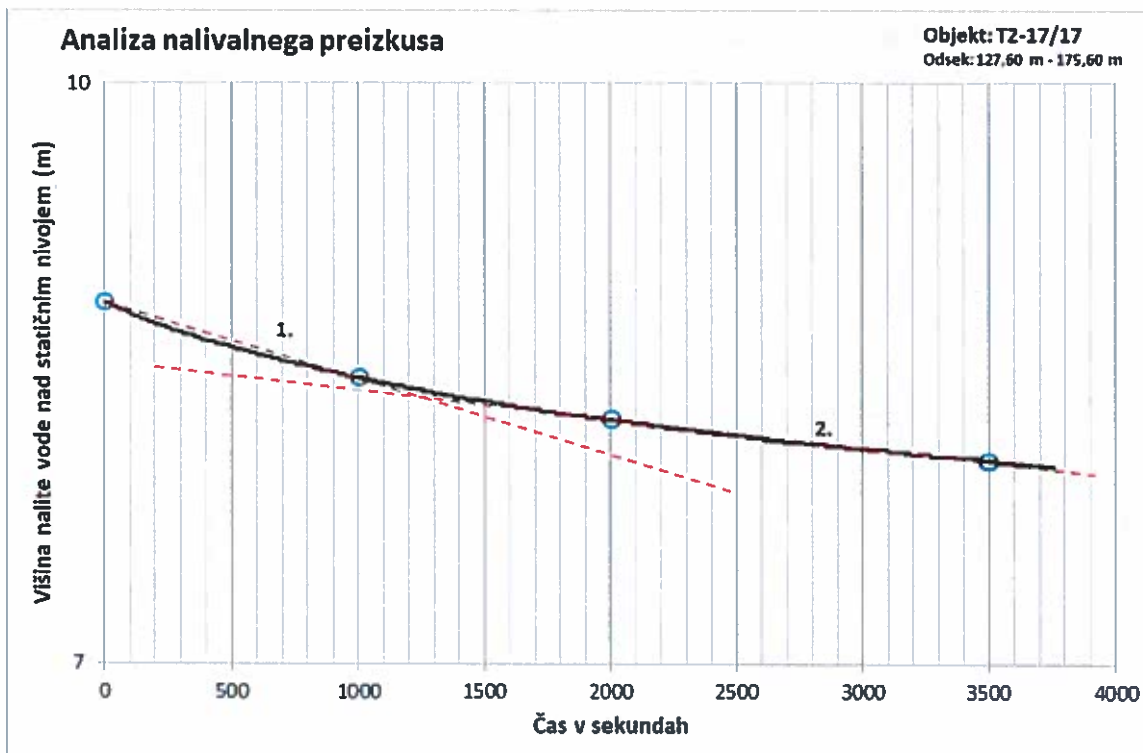
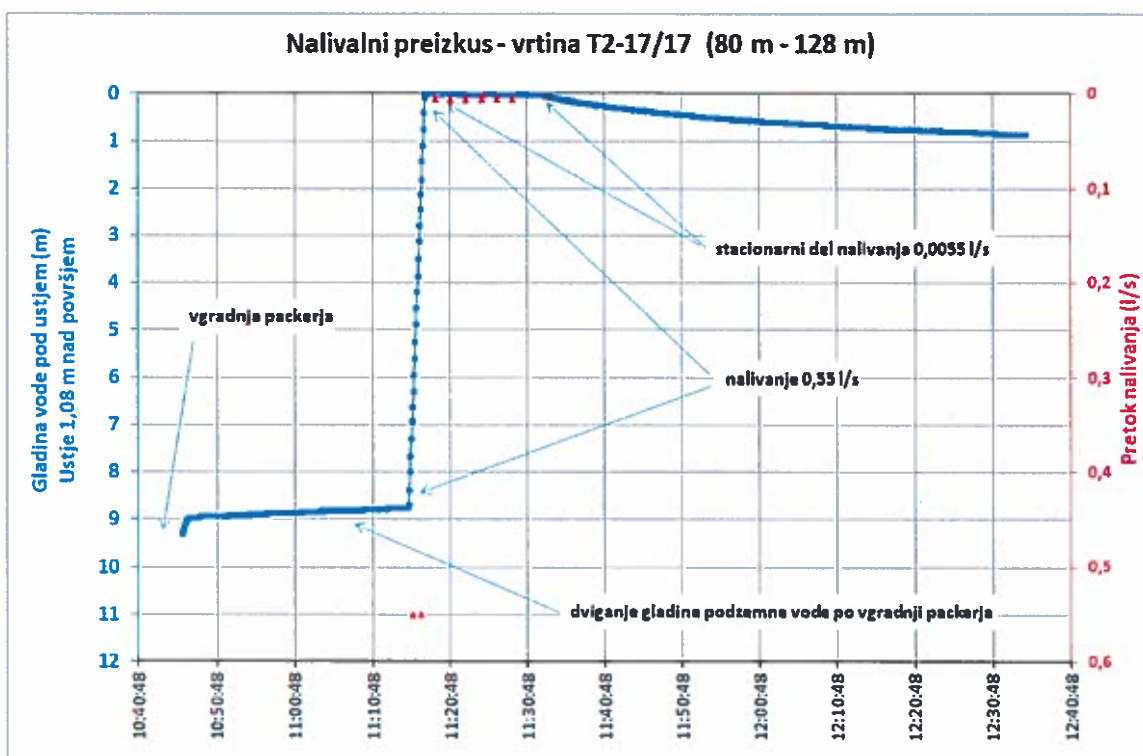
Nalivalni preizkus - vrtina T2-17/17 (31,40 m - 79,40 m)

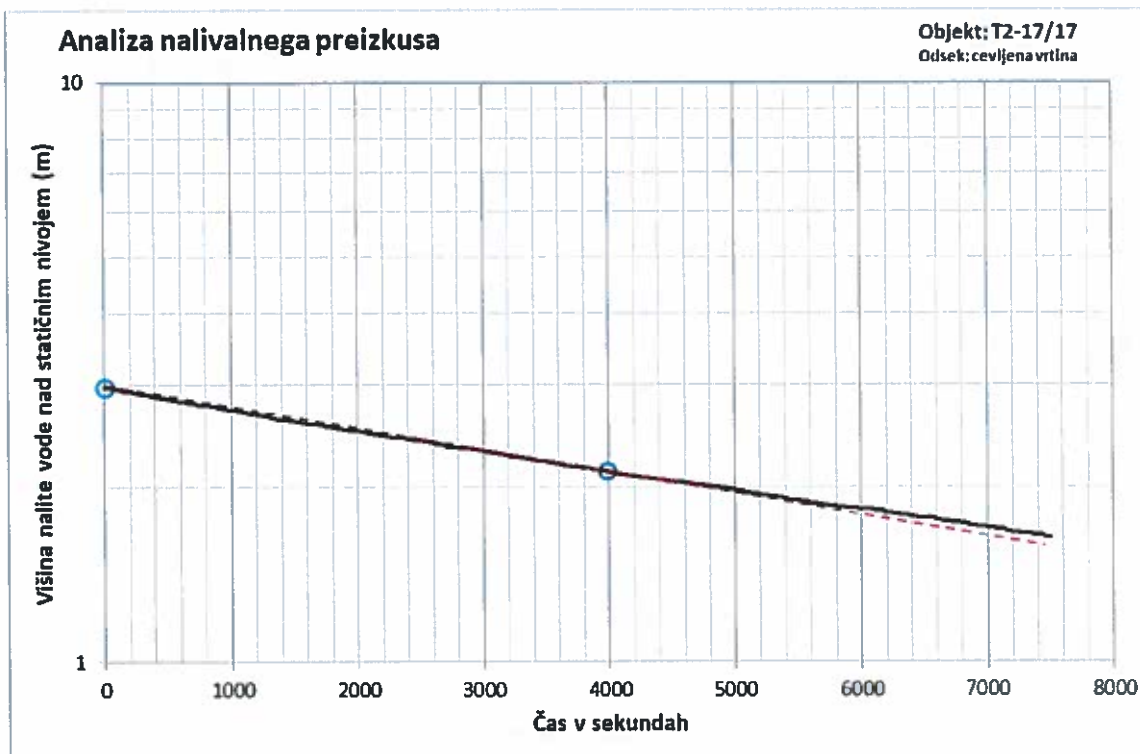
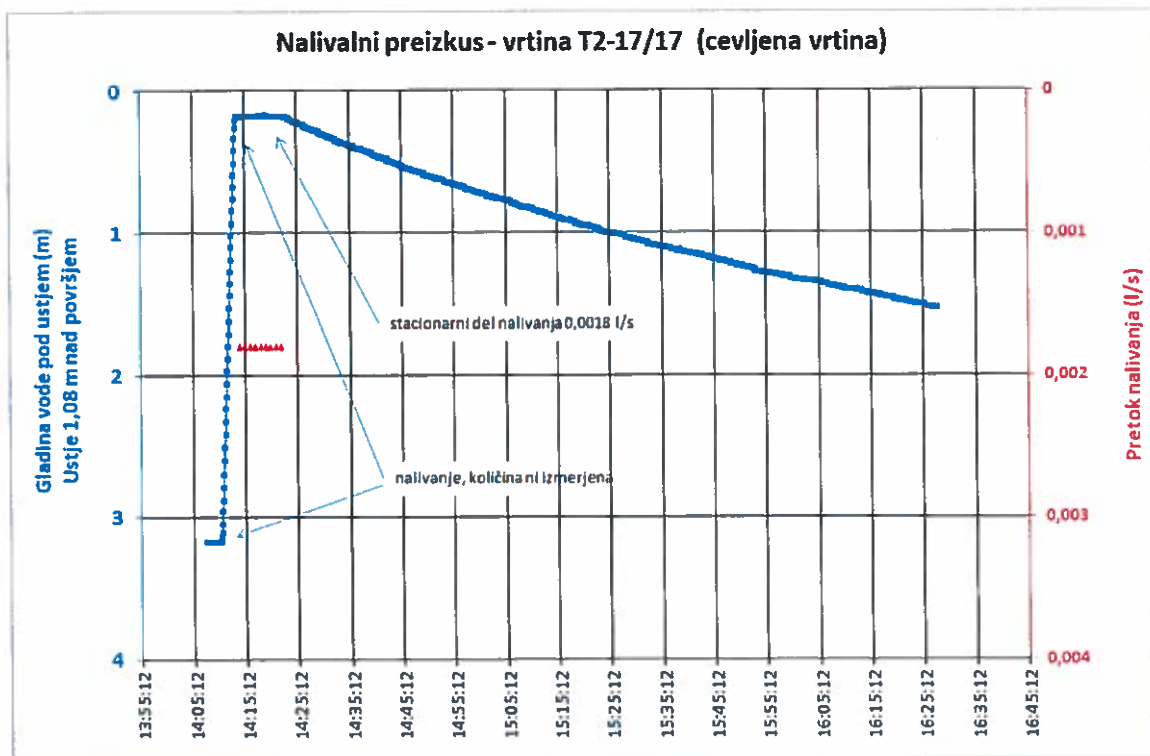


Analiza nalivalnega preizkusa

Objekt: T2-17/17
Odsek: 31,40 m - 79,40 m

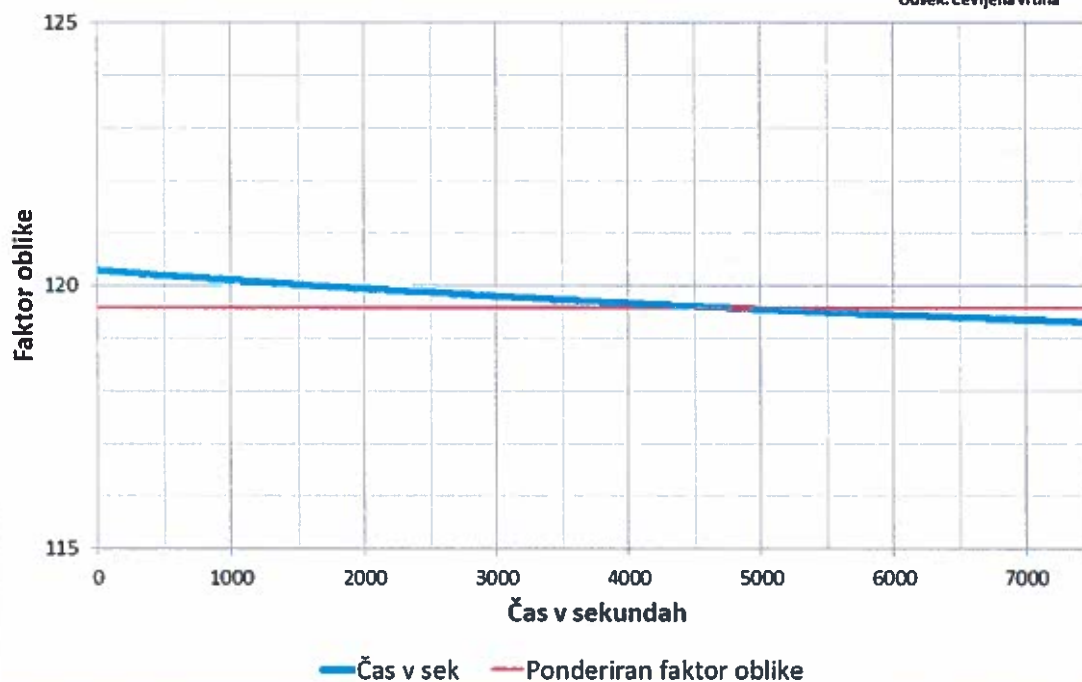




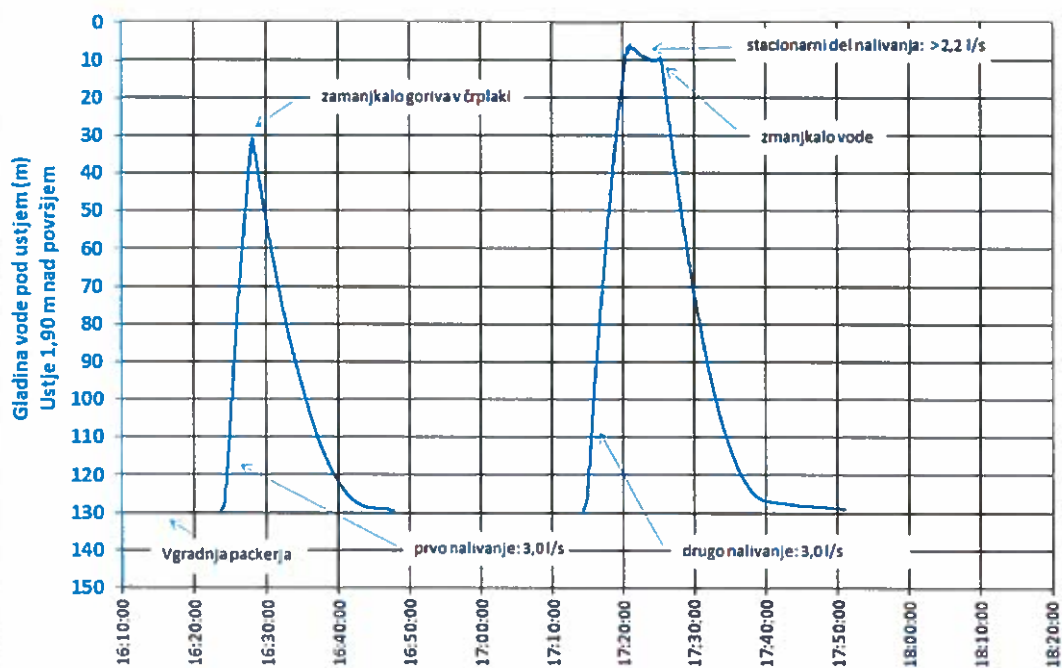


Interpretacija faktorja oblike

Objekt: T2-17/17
Odsek: Cevljena vrtina



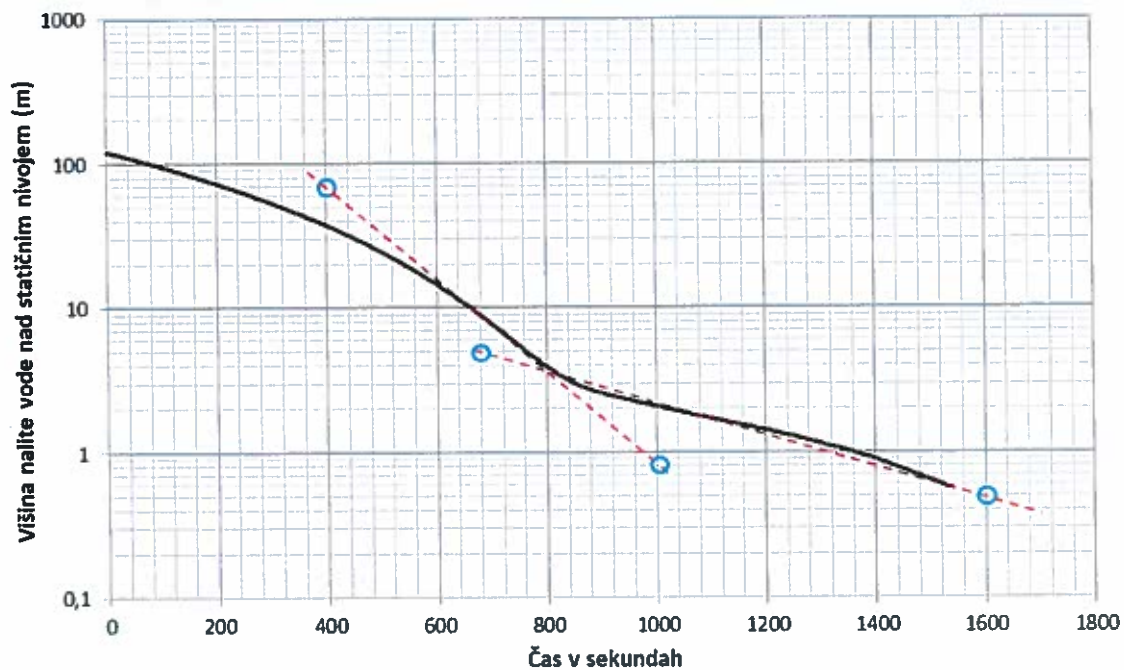
Nalivalni preizkus - vrtina T2-18/17 (132,1 m - 139,5 m)



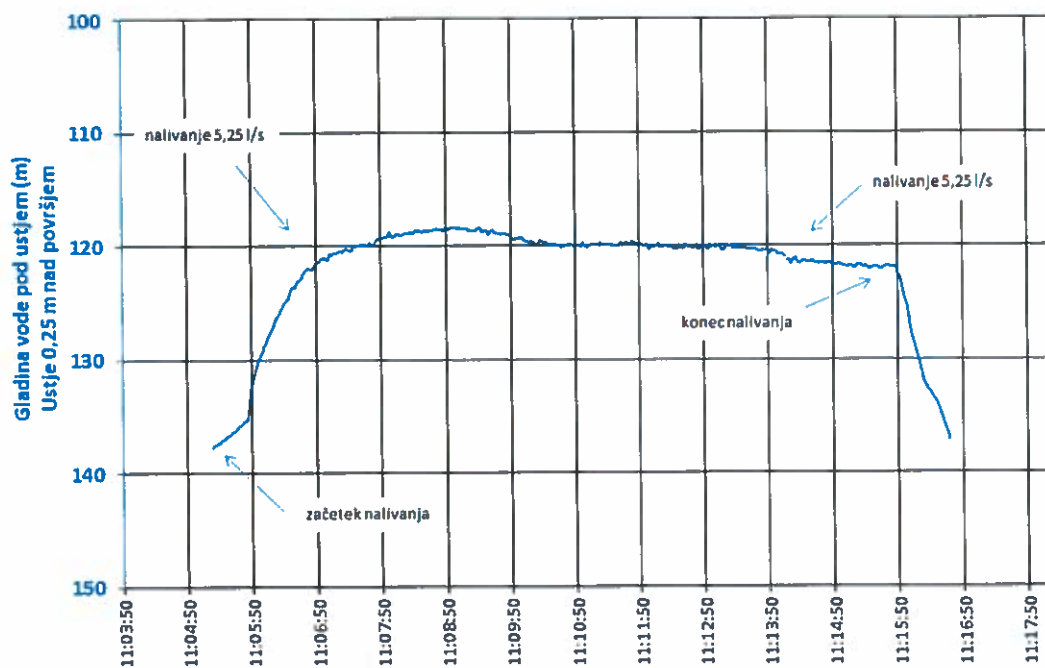
Analiza nalivalnega preizkusa

Objekt: T2-18/17

Odsek: Prvi odsek

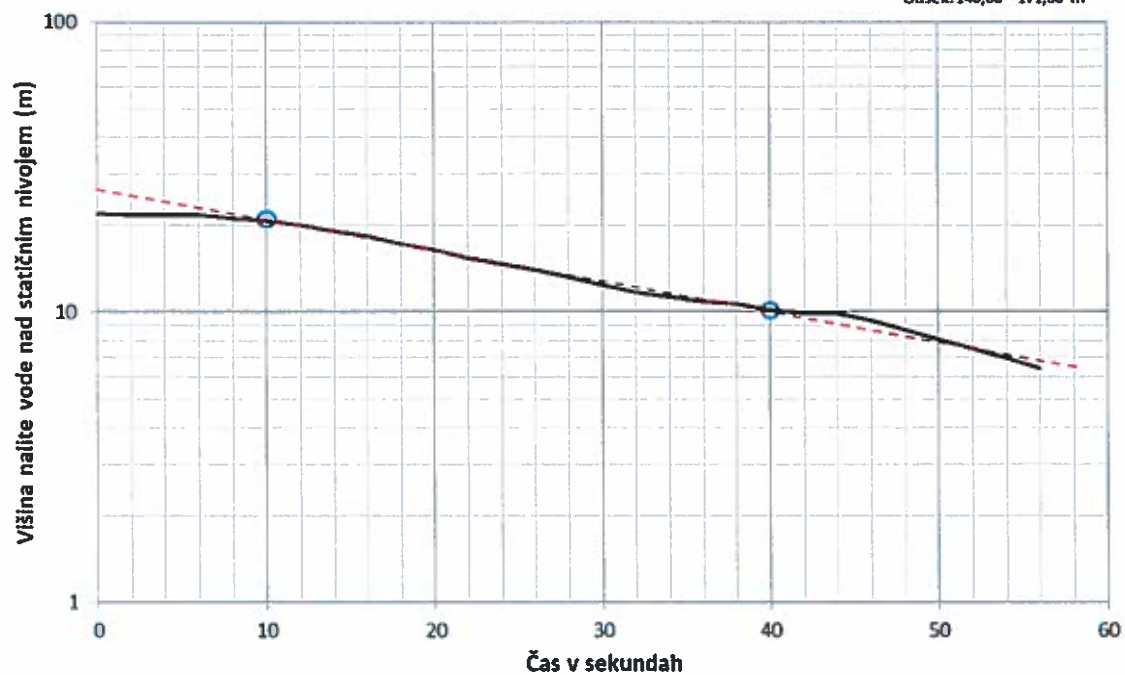


Nalivalni preizkus - vrtina T2-18/17 (140,6 m - 171,0 m)

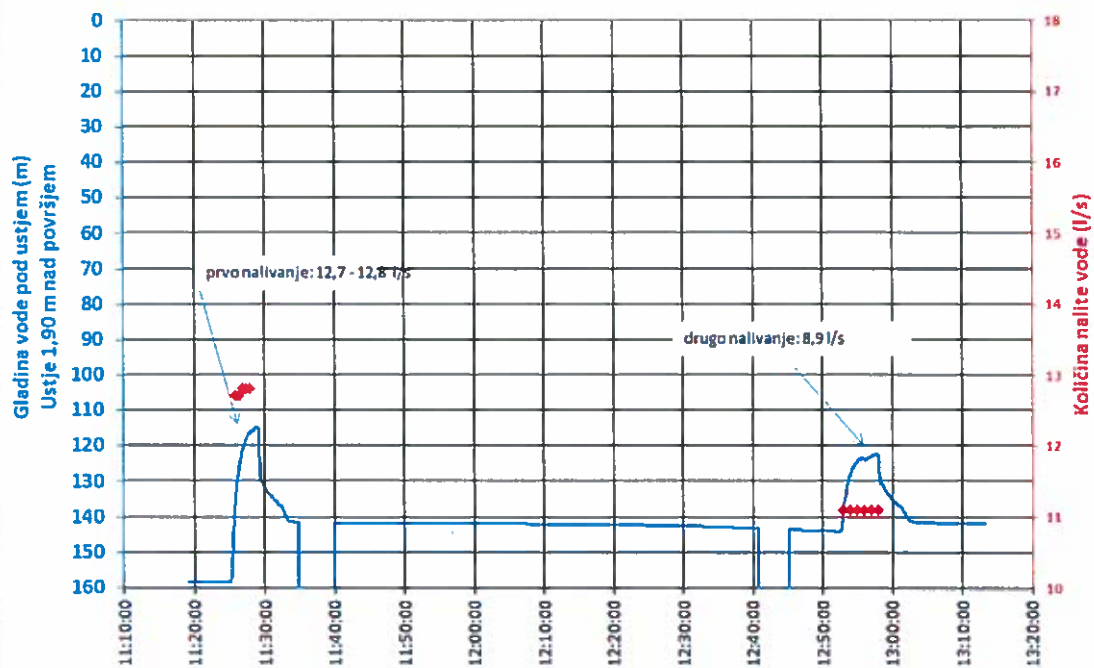


Analiza nalivalnega preizkusa

Objekt: T2-18/17
Odsek: 140,60 - 171,00 m

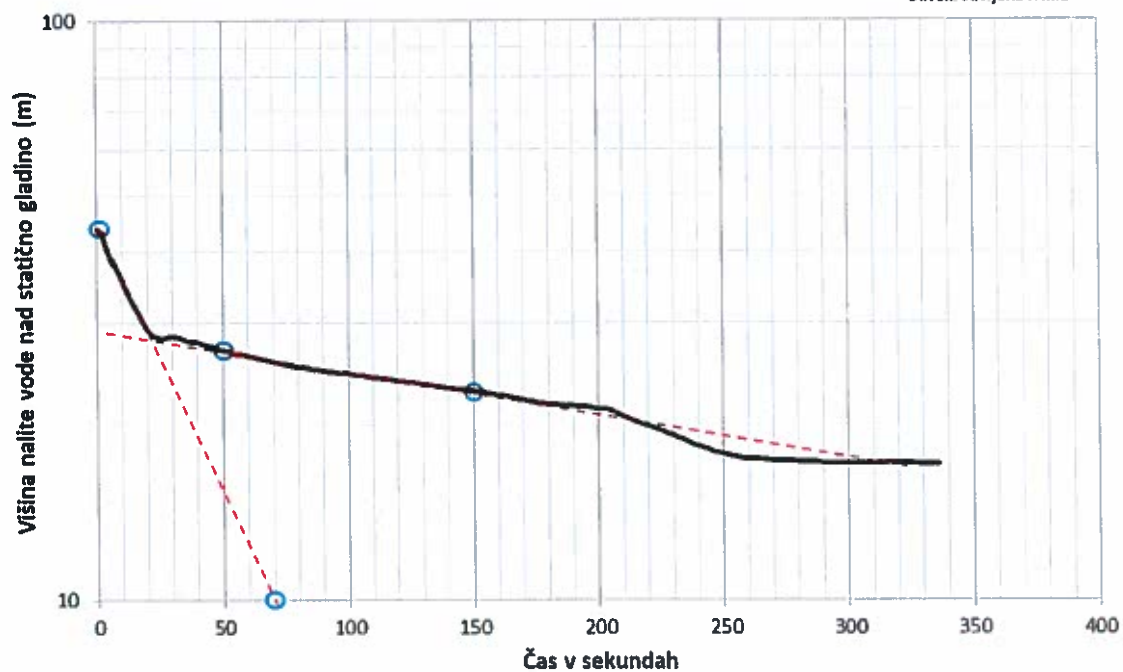


Nalivalni preizkus - vrtina T2-18/17 (zacevljena vrtina)



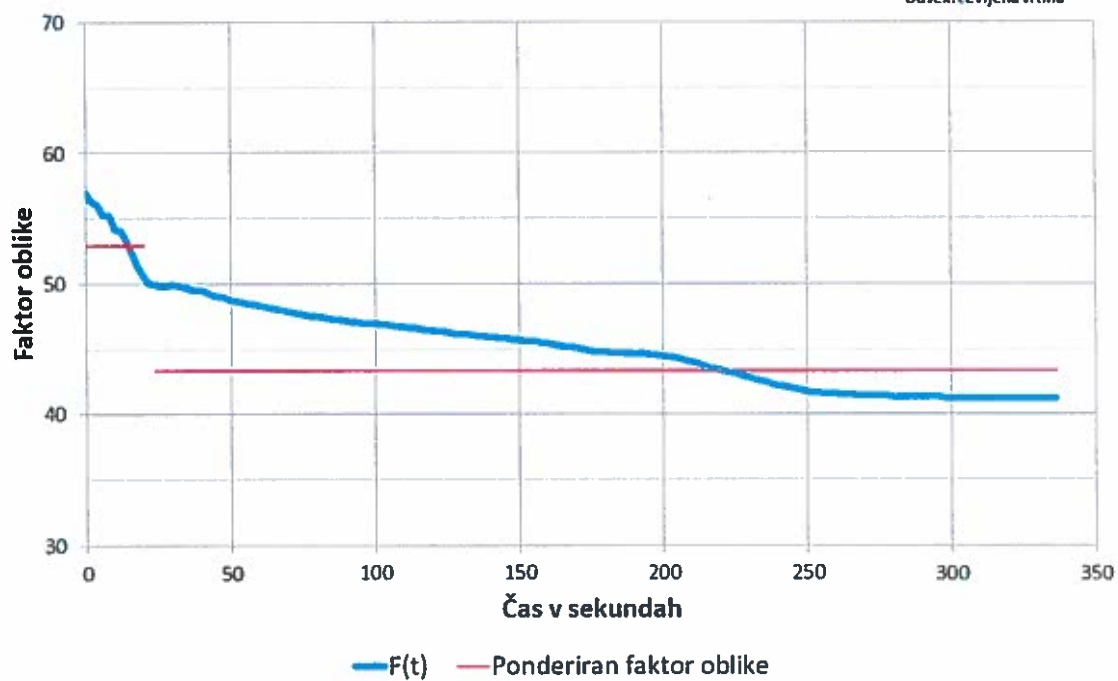
Analiza nalivalnega preizkusa

Objekt: T2-18/17
Odsek: Čevljena vrtina



Interpretacija faktorja oblike

Objekt: T2-18/17
Odsek: čevljena vrtina





POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI T1-12/17 (testiran odsek 157,35-247,35 m)

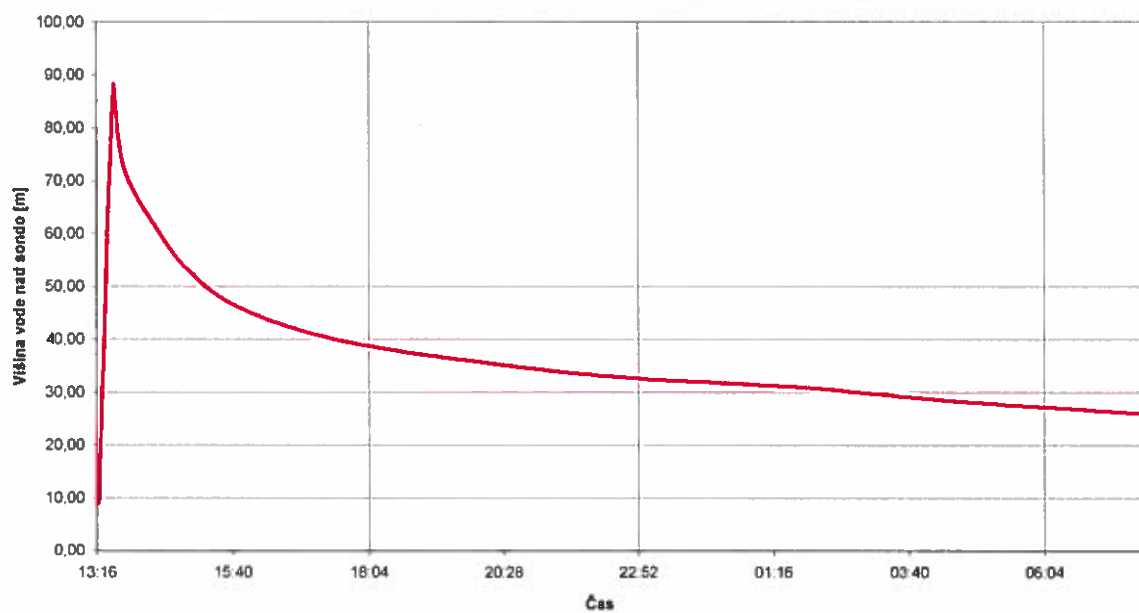
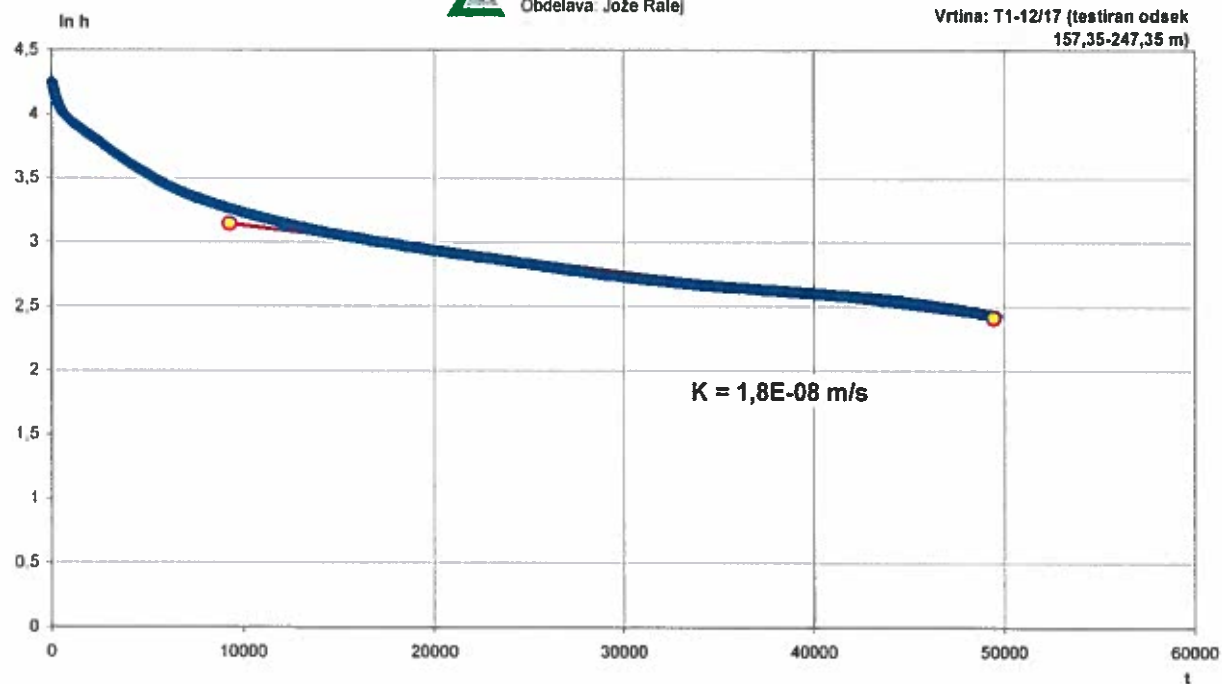
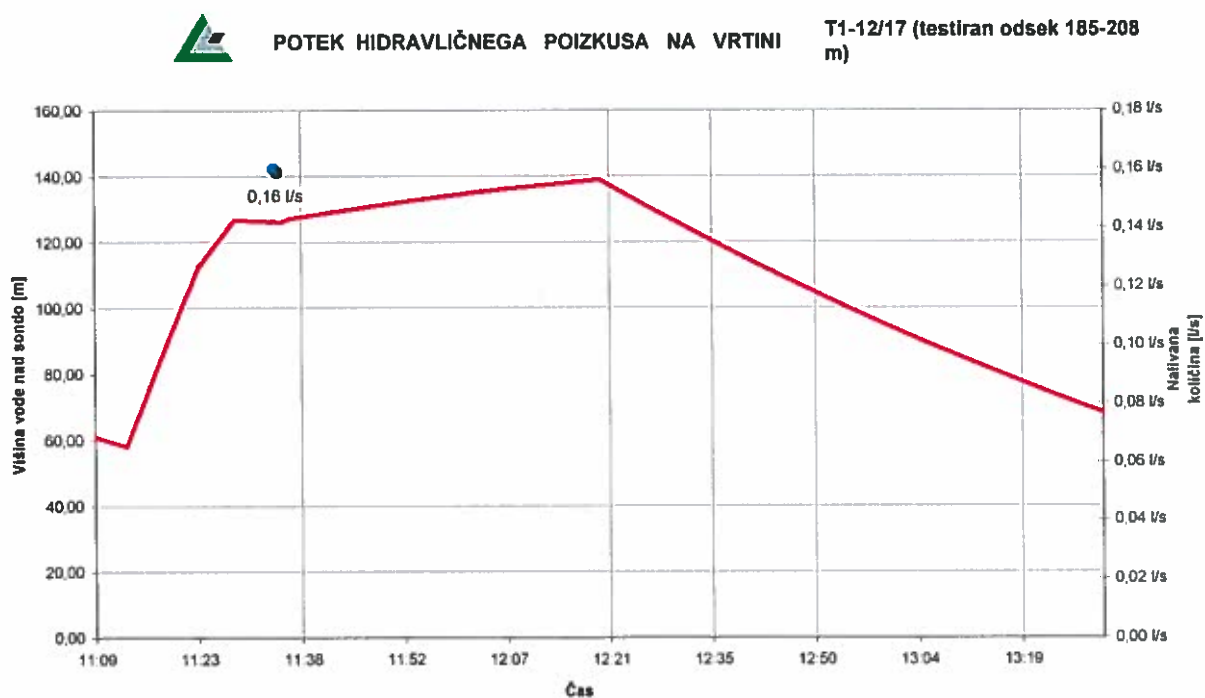
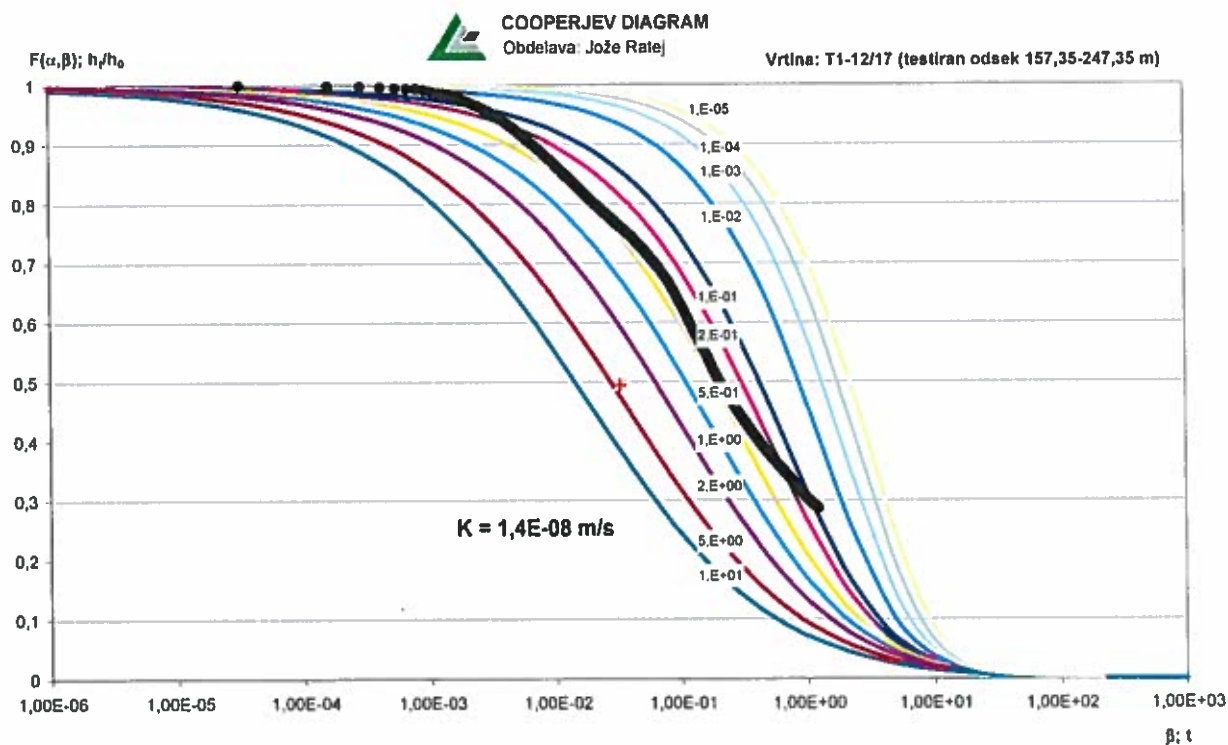


DIAGRAM HVORSLEVA

Obdelava Jože Ralej

Vrtina: T1-12/17 (testiran odsek
157,35-247,35 m)



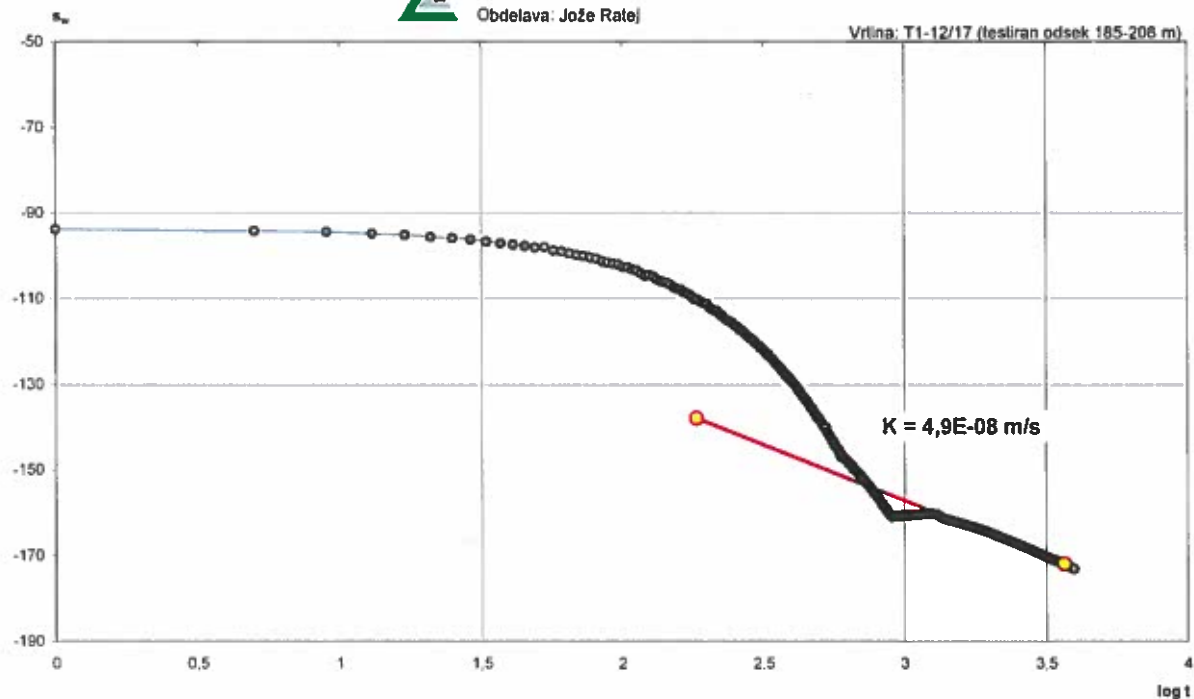




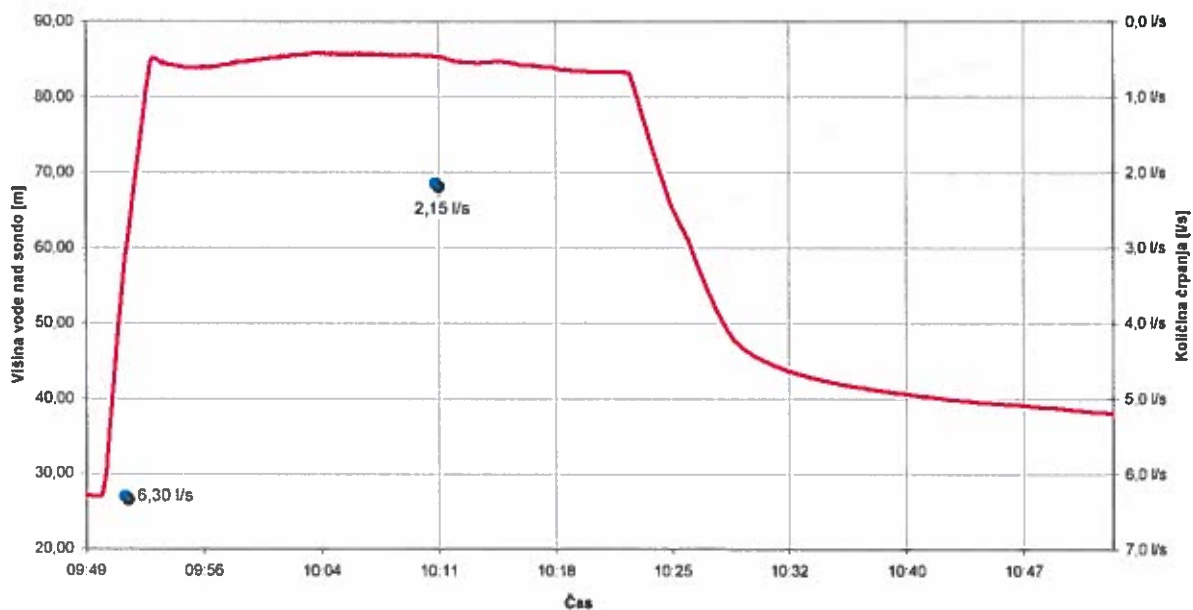
JACOBOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

Vrtina: T1-12/17 (testiran odsek 185-208 m)



POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI T1-12/17 (testiran odsek 60 do 125,2 m)

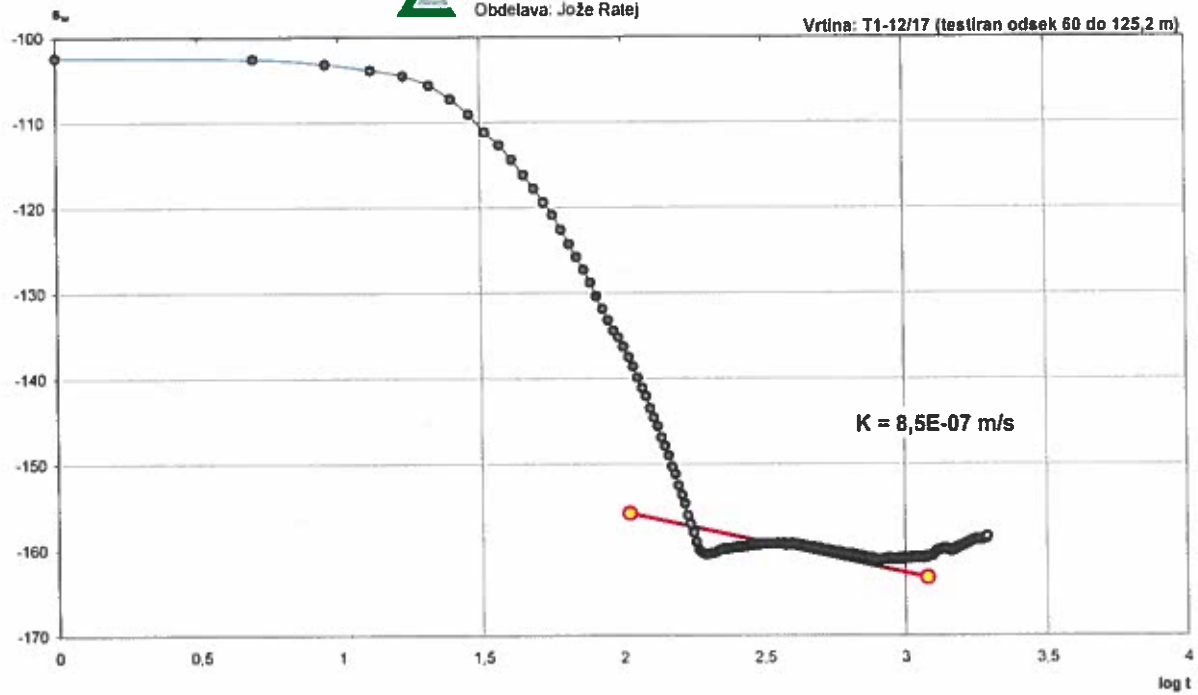




JACOBOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

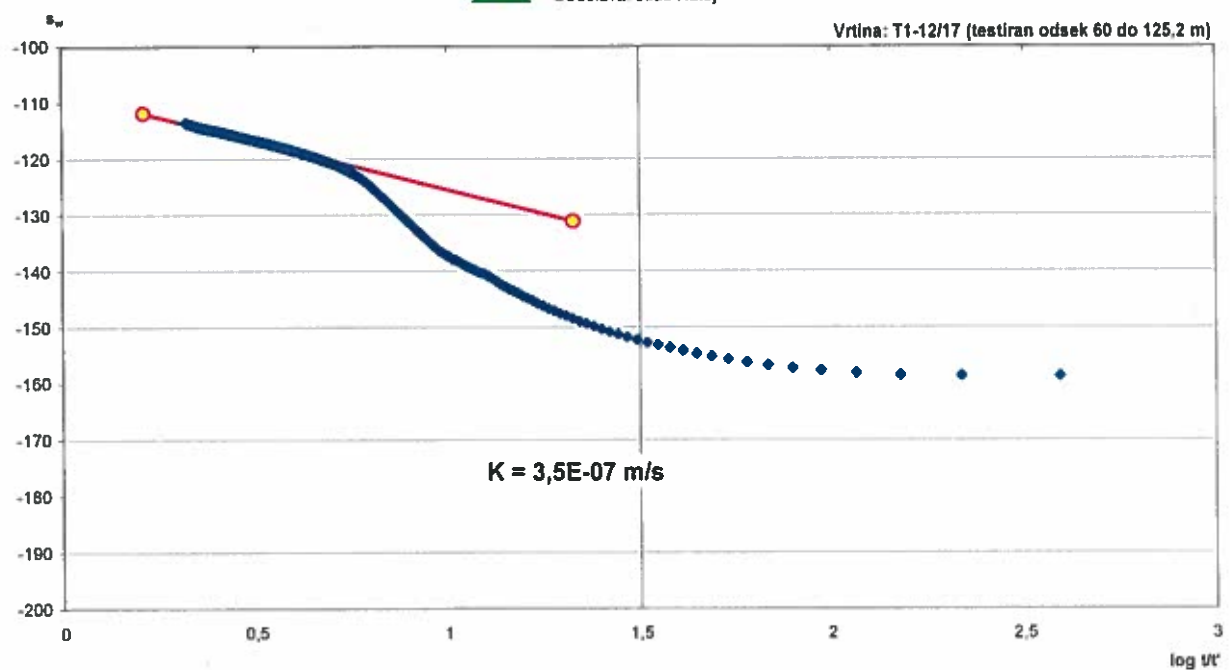
Vrtina: T1-12/17 (testiran odsek 60 do 125,2 m)



THEISOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

Vrtina: T1-12/17 (testiran odsek 60 do 125,2 m)





POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI

T1-12/17 (testiran odsek 60 do 125,2)

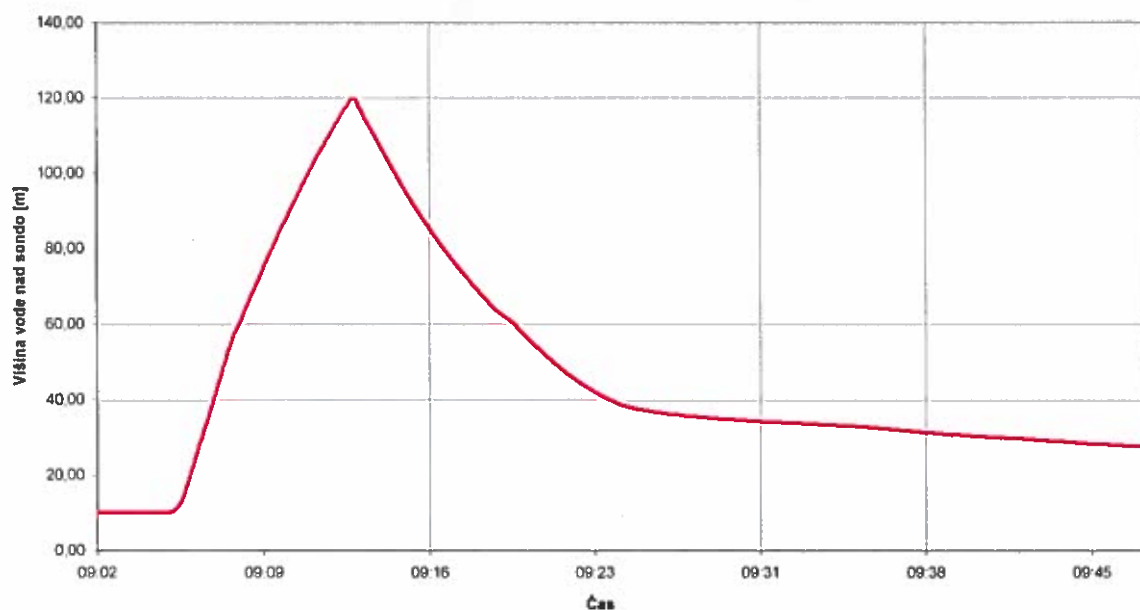
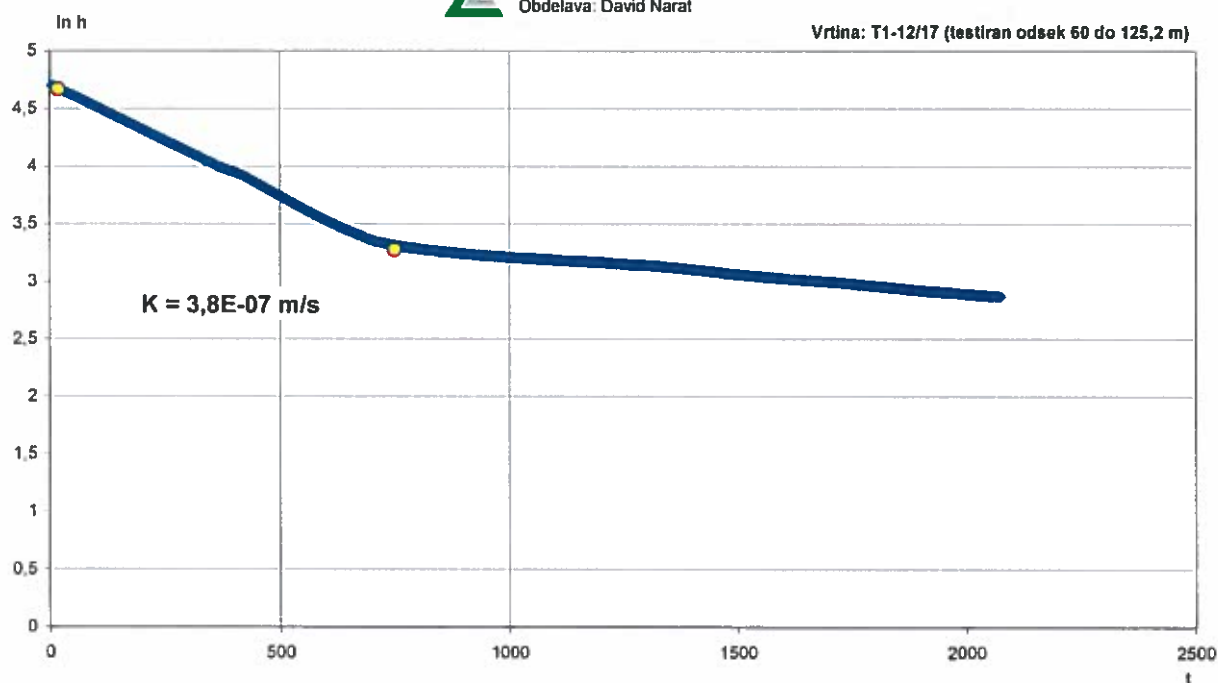
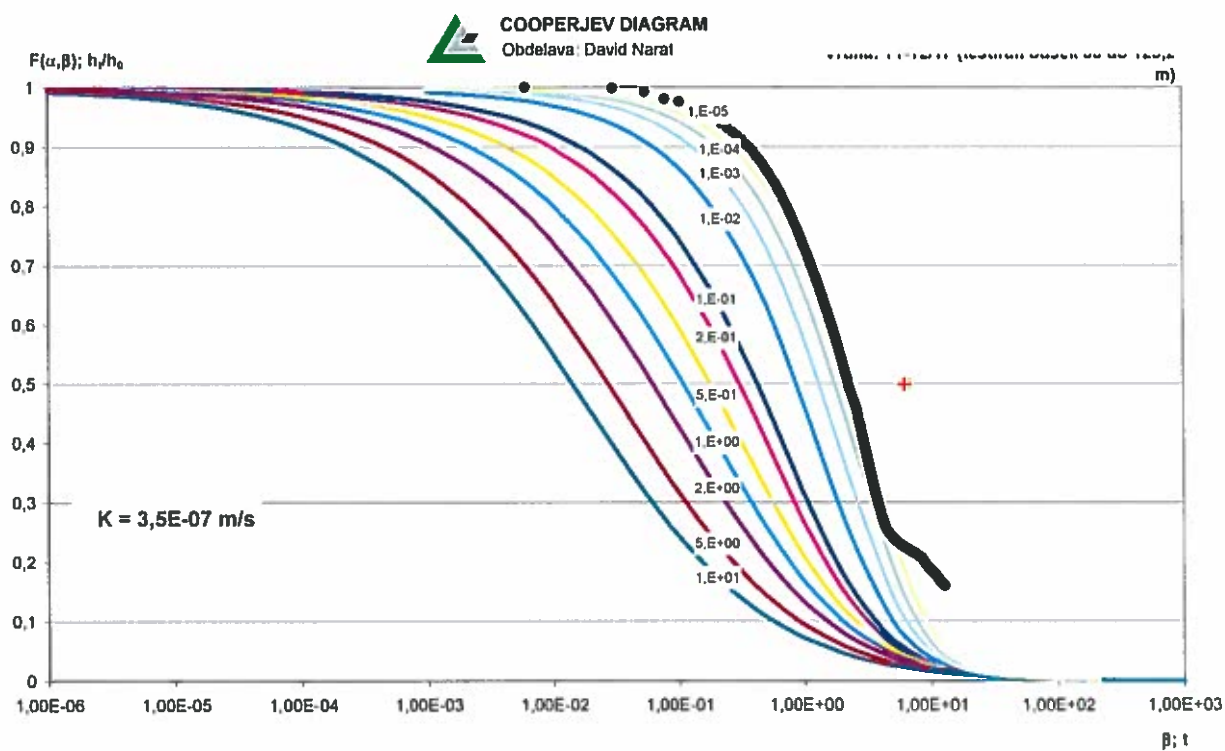


DIAGRAM HVORSLEVA

Obdelava: David Narat

Vrtina: T1-12/17 (testiran odsek 60 do 125,2 m)





POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI

T1-14/17 (testiran odsek 141-149.8m)

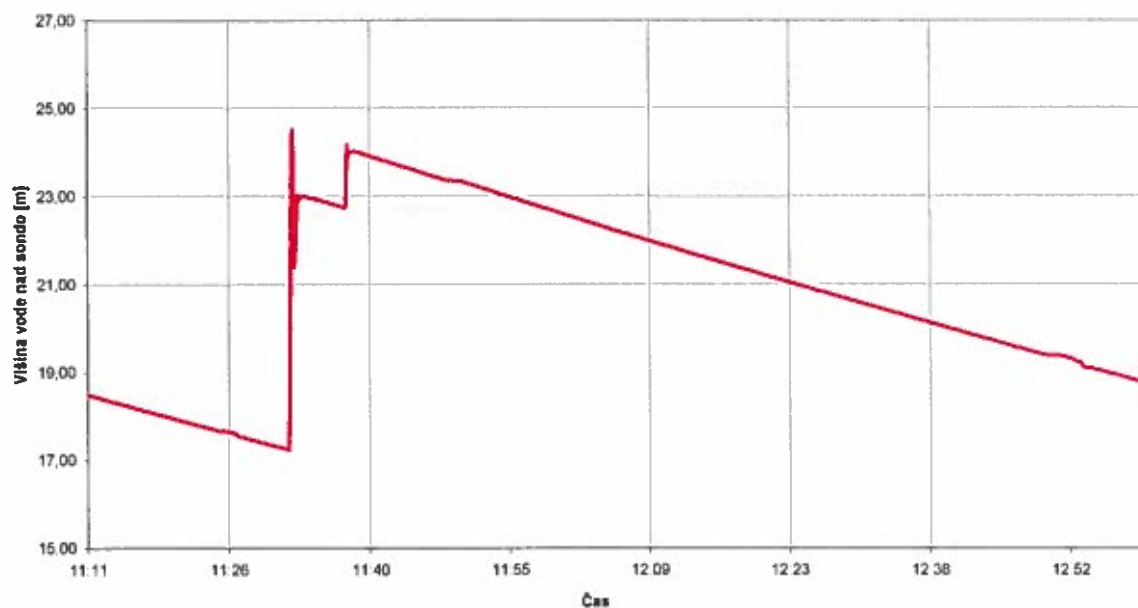
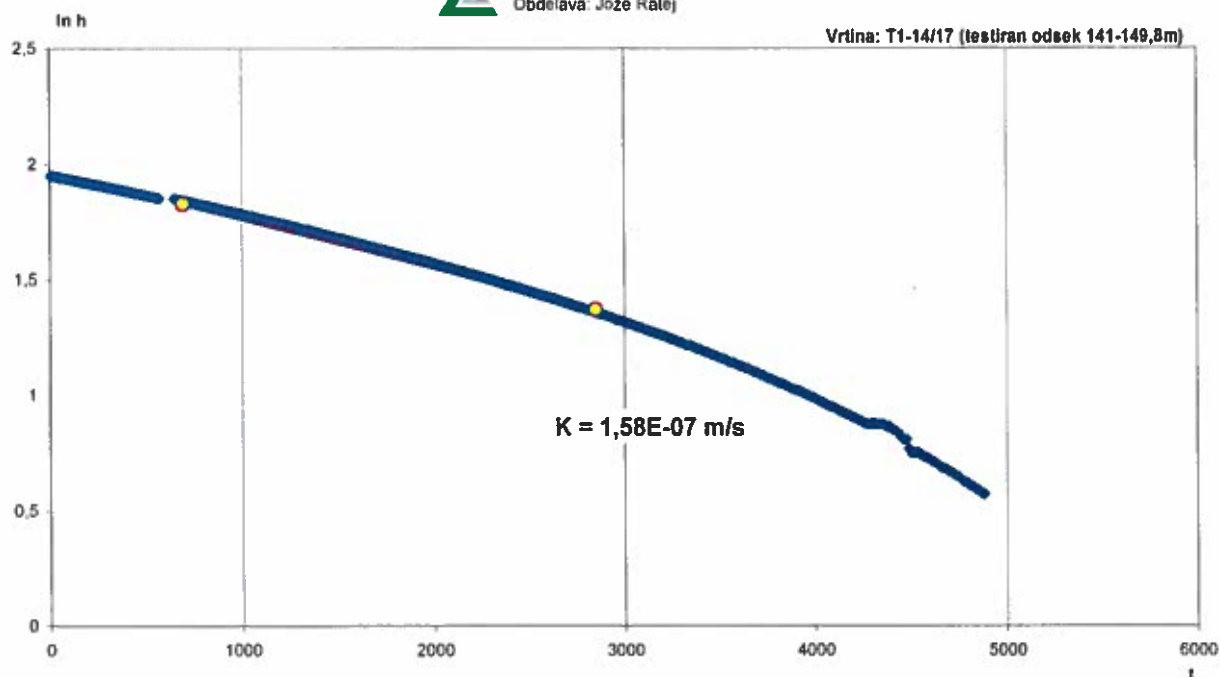




DIAGRAM HVORSLEVA

Obdelava: Jože Ratej

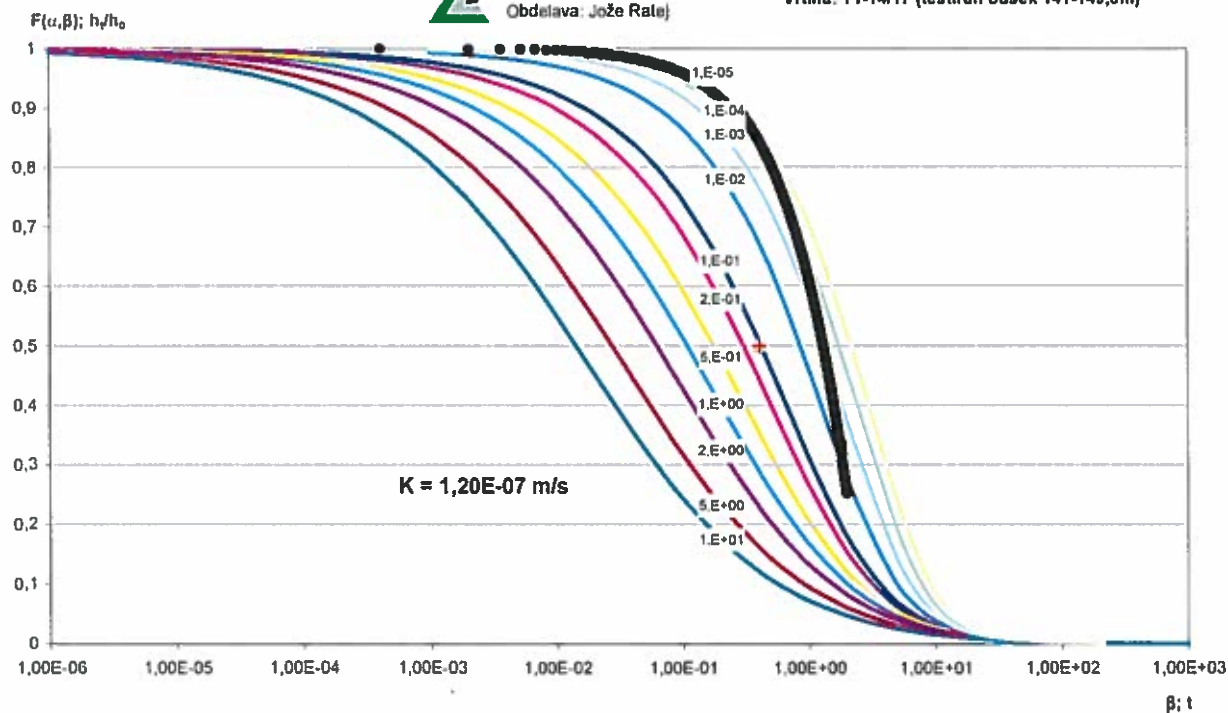
Vrtina: T1-14/17 (testiran odsek 141-149,8m)



COOPERJEV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

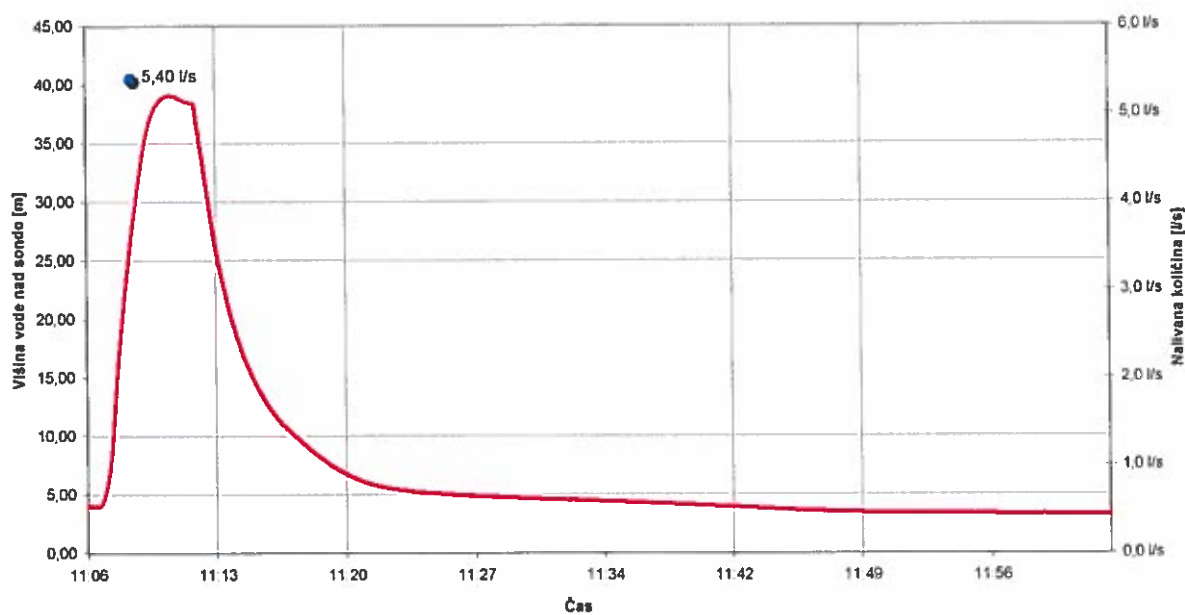
Vrtina: T1-14/17 (testiran odsek 141-149,8m)





POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI

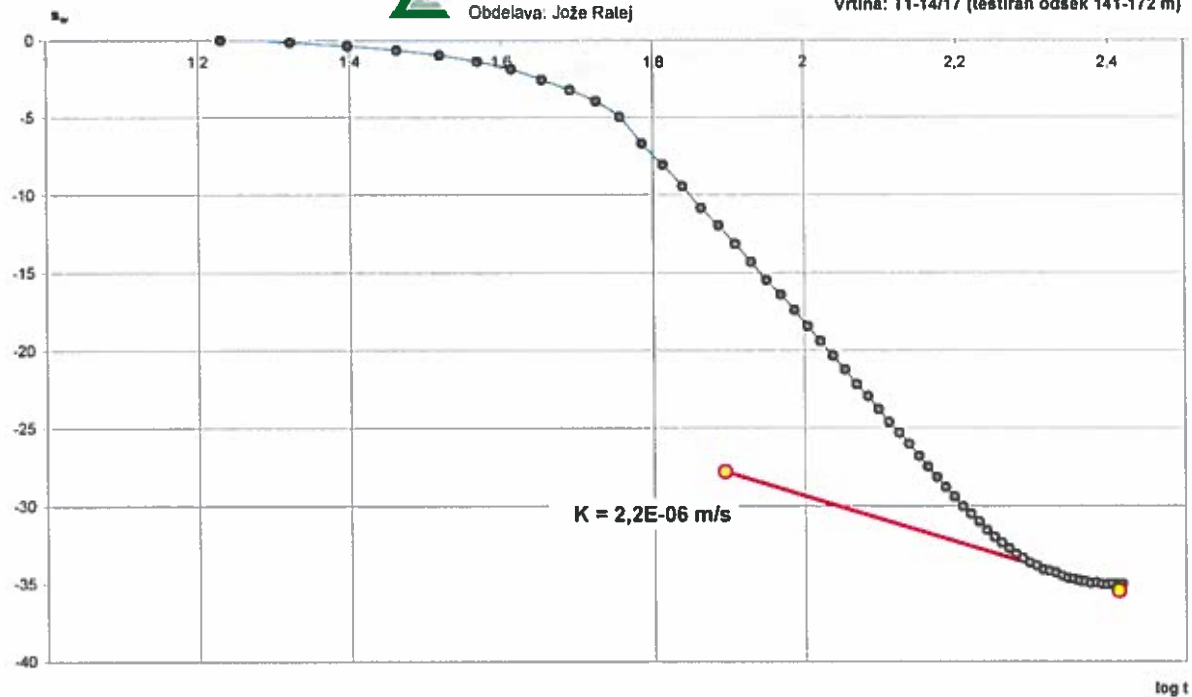
T1-14/17 (testiran odsek 141-172 m)



JACOBOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ralej

Vrtina: T1-14/17 (testiran odsek 141-172 m)





THEISOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

Vrtina: T1-14/17 (testiran odsek 141-172 m)

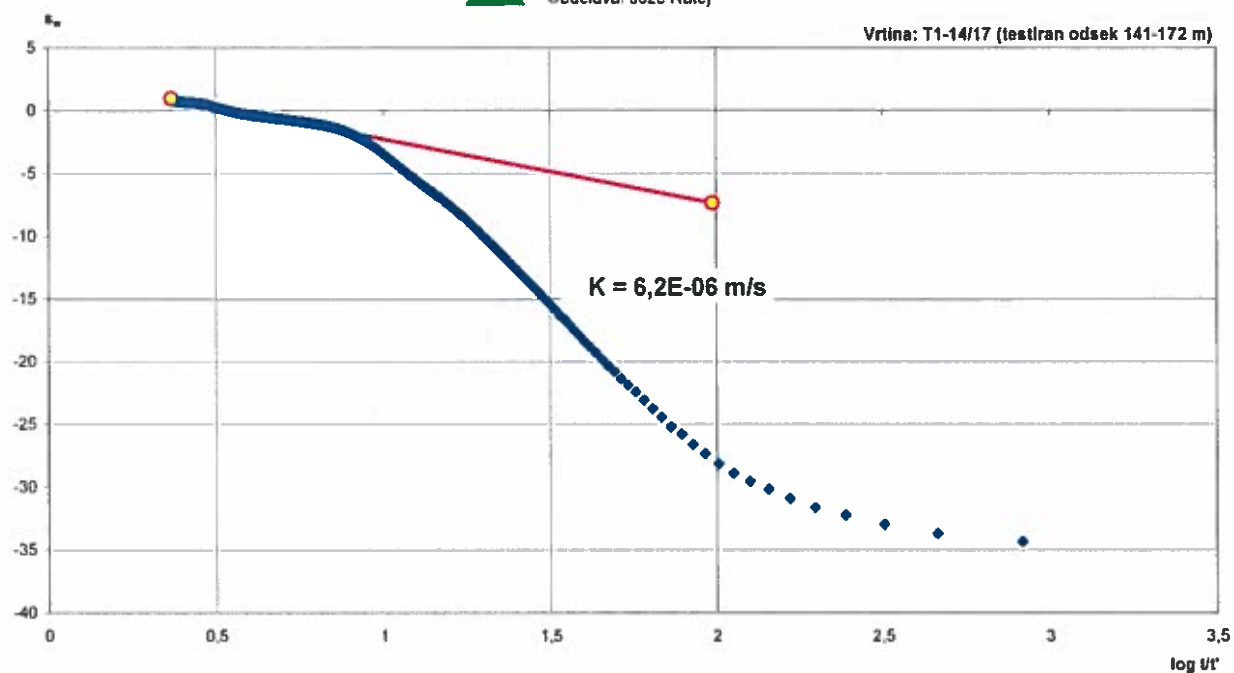
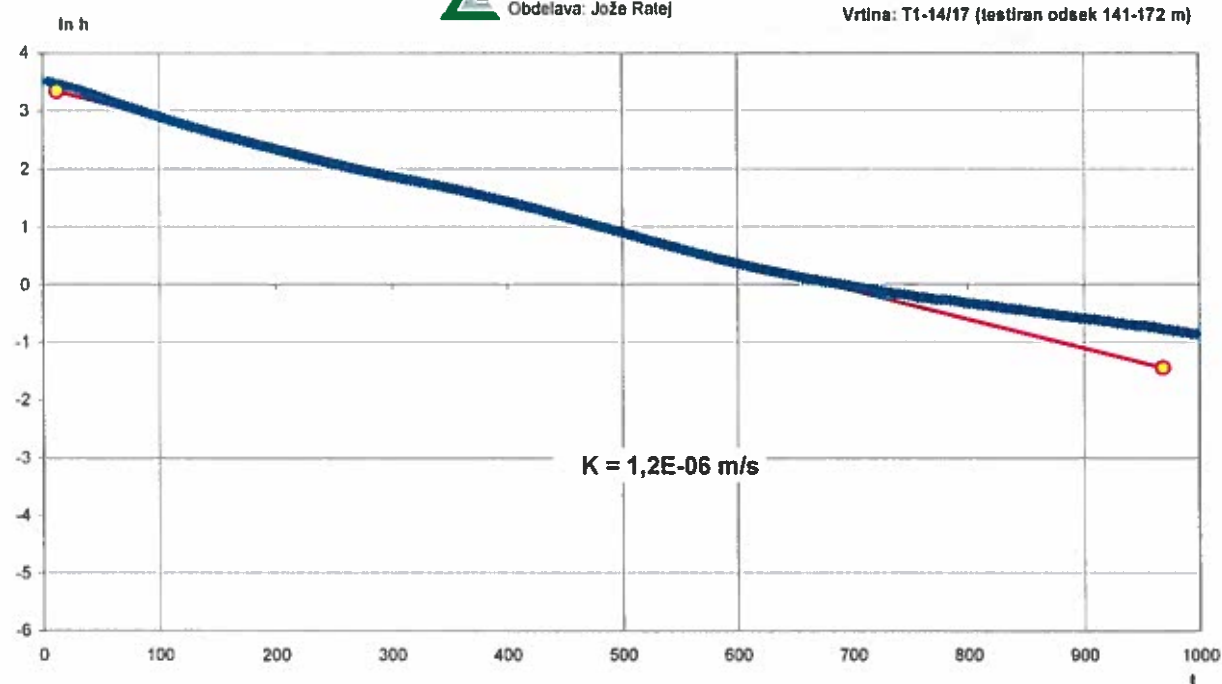
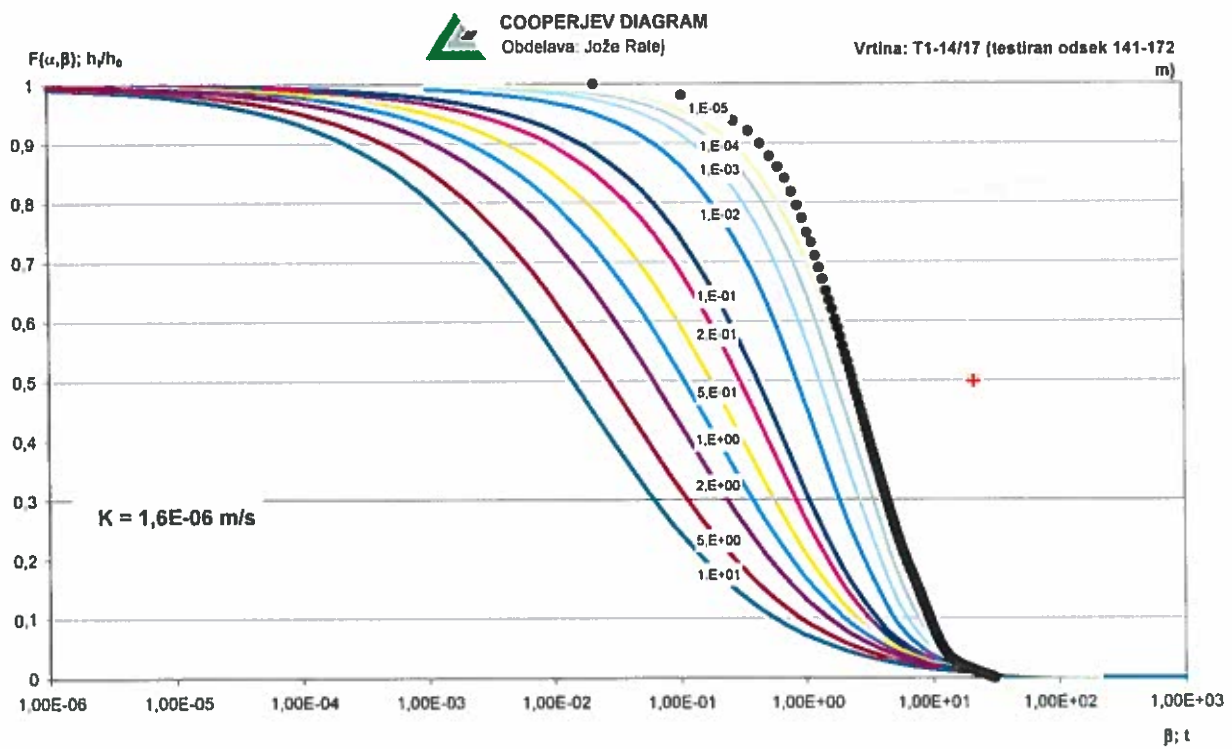


DIAGRAM HVORSLEVA

Obdelava: Jože Ratej

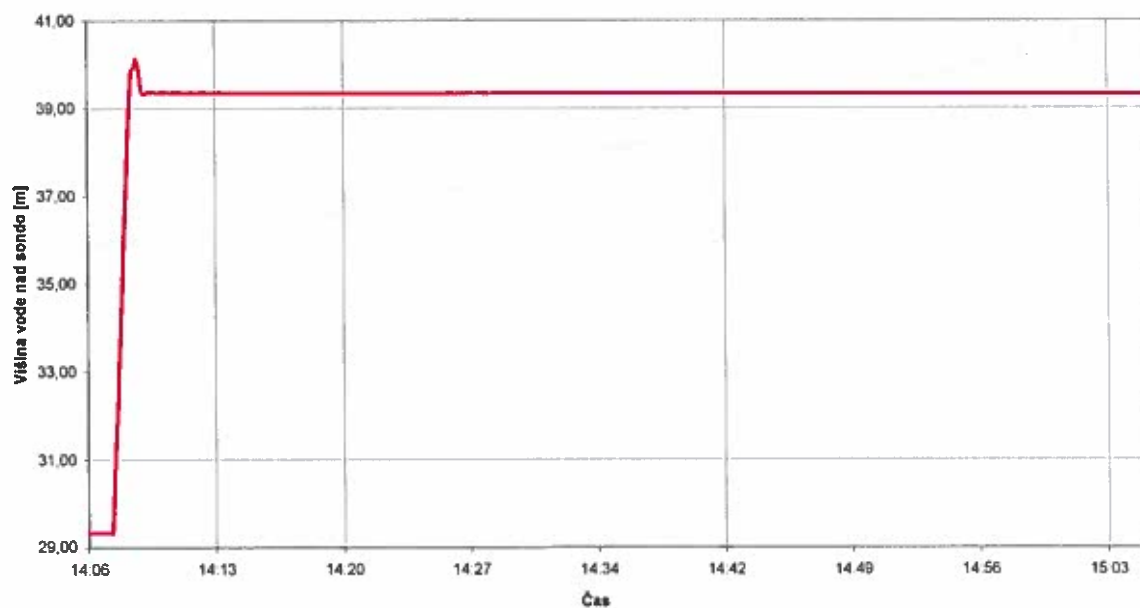
Vrtina: T1-14/17 (testiran odsek 141-172 m)

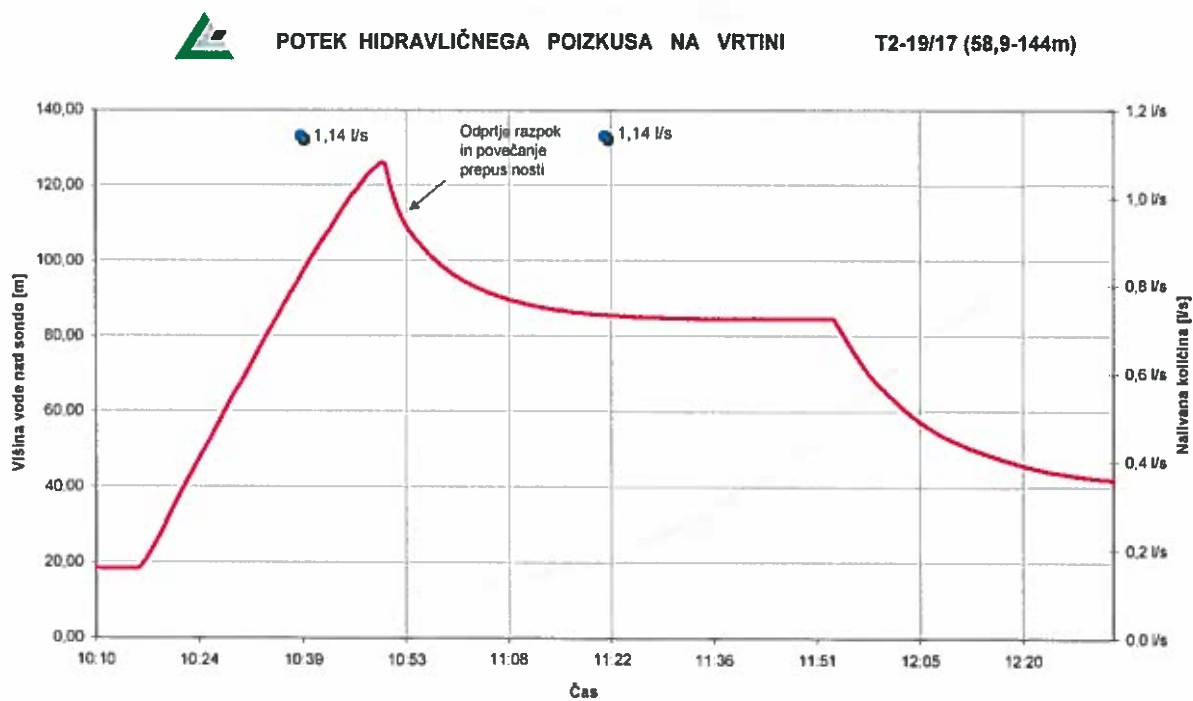
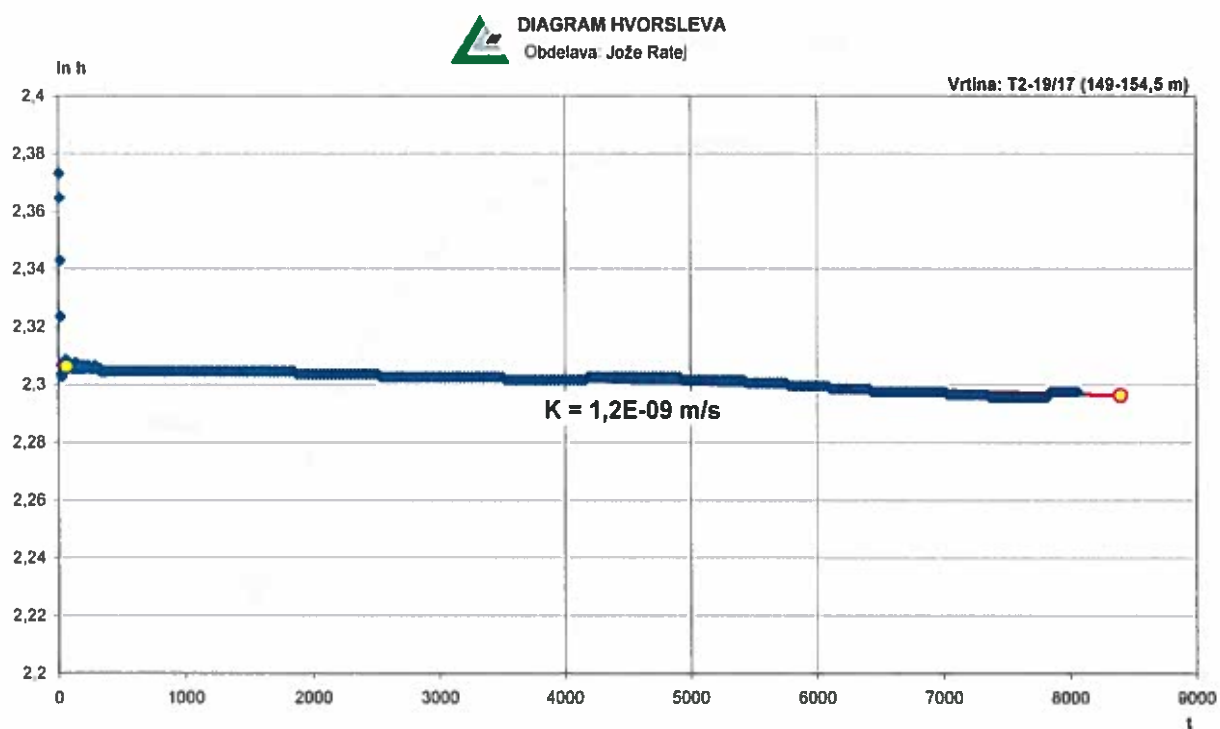




POTEK HIDRAVLIČNEGA POIZKUSA NA VRTINI

T2-19/17 (149-154,5 m)



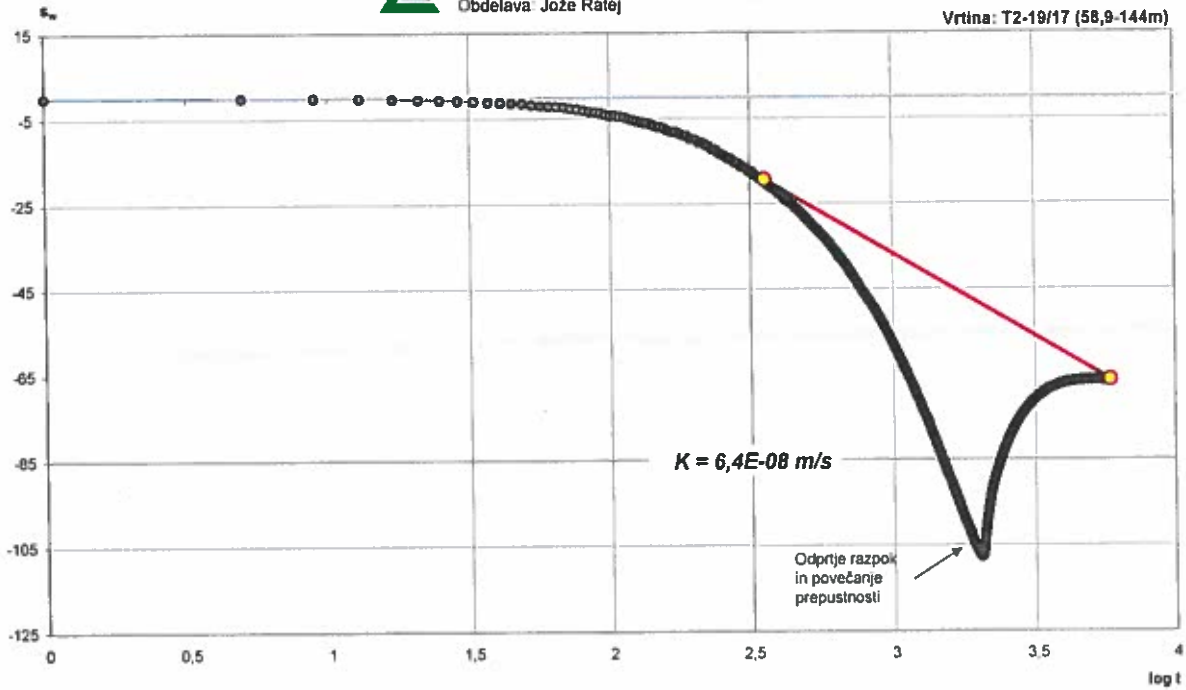




JACOBOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

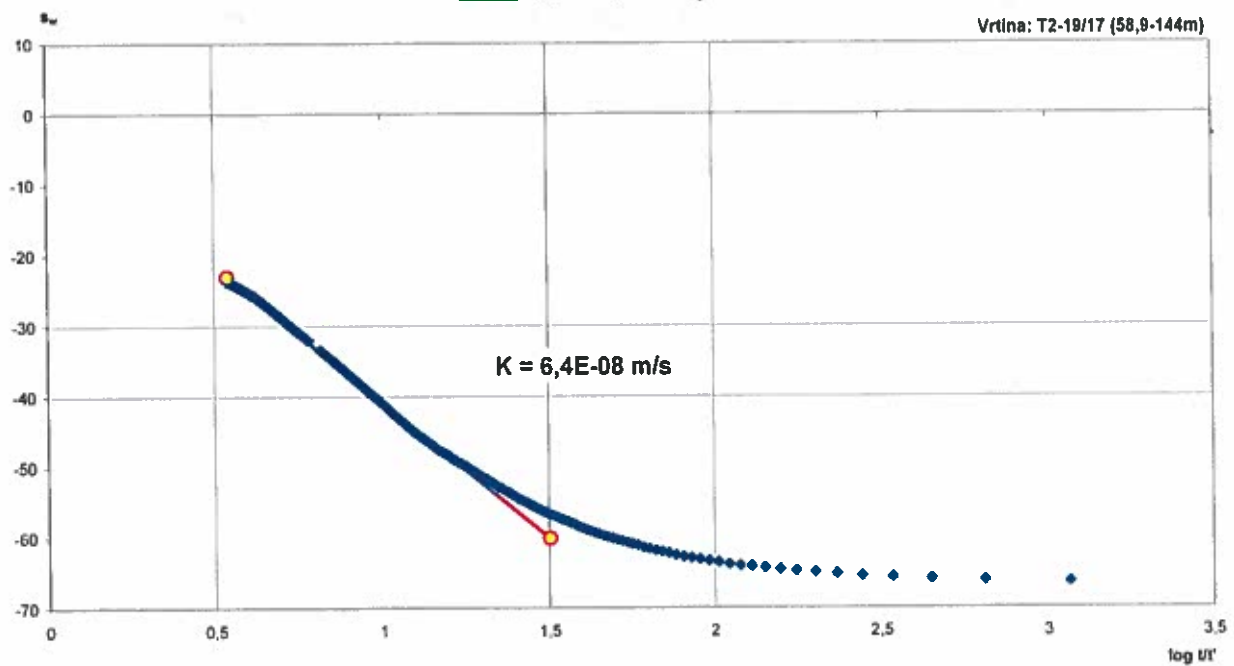
Vrtina: T2-19/17 (58,9-144m)



THEISOV DIAGRAM

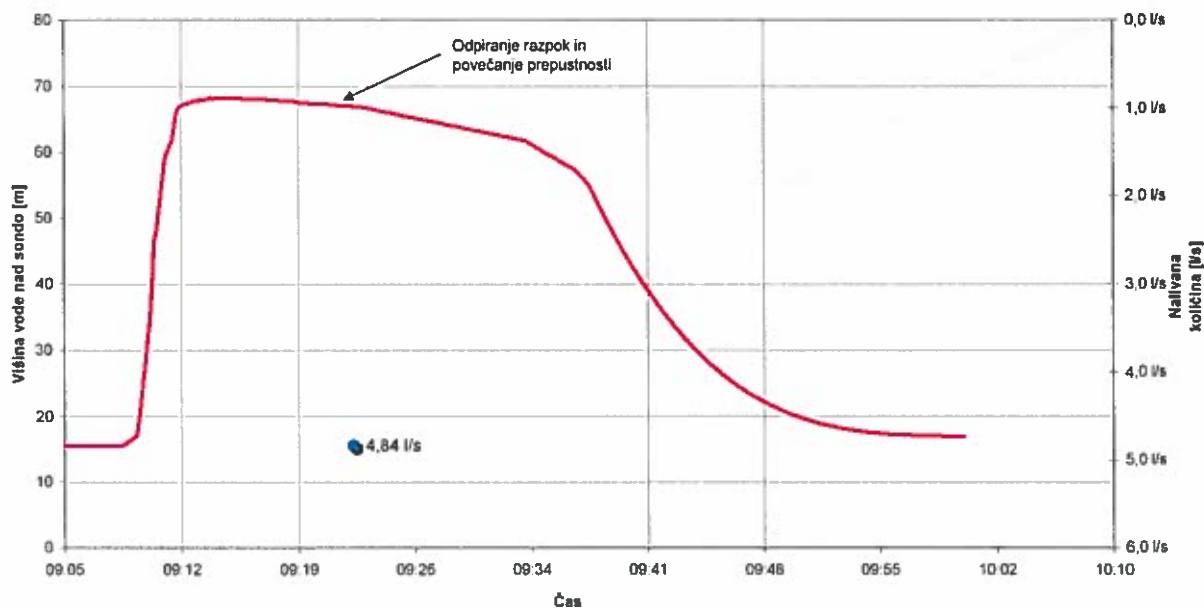
Obdelava: Jože Ratej

Vrtina: T2-19/17 (58,9-144m)





POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI T1-19/17 (testiran odsek 161,5 do 248 m)



THEISOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

Vrtina: T2-19/17 (testiran odsek 161,5 do 248 m)

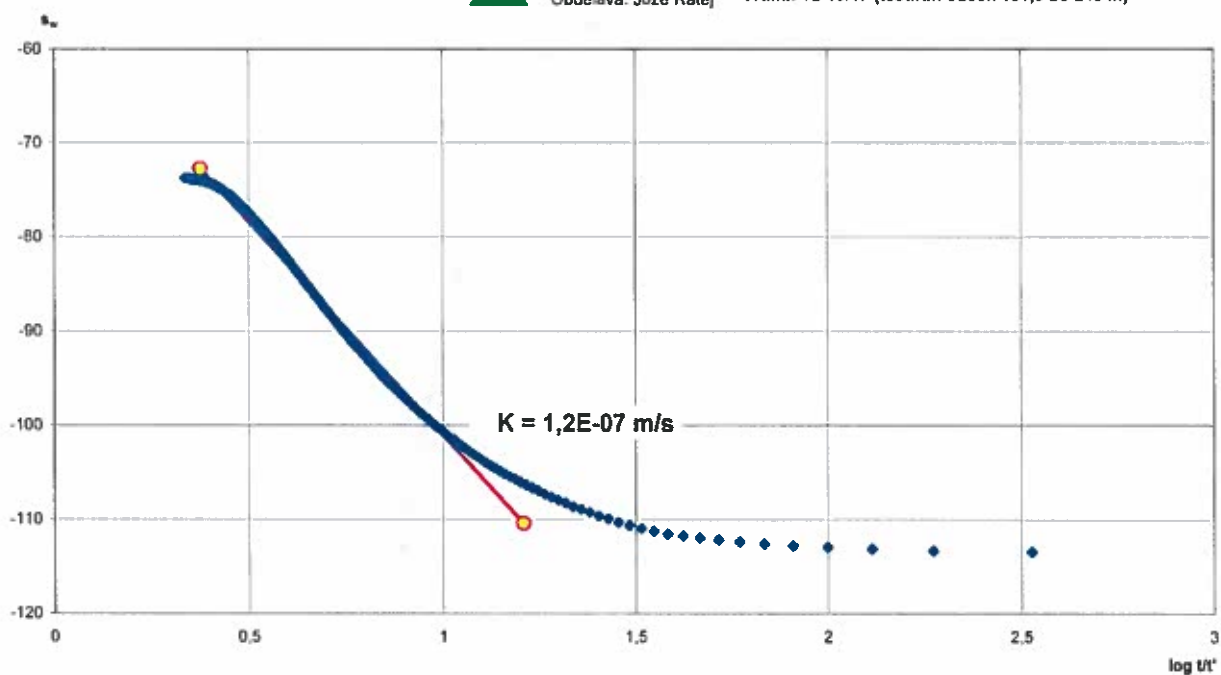
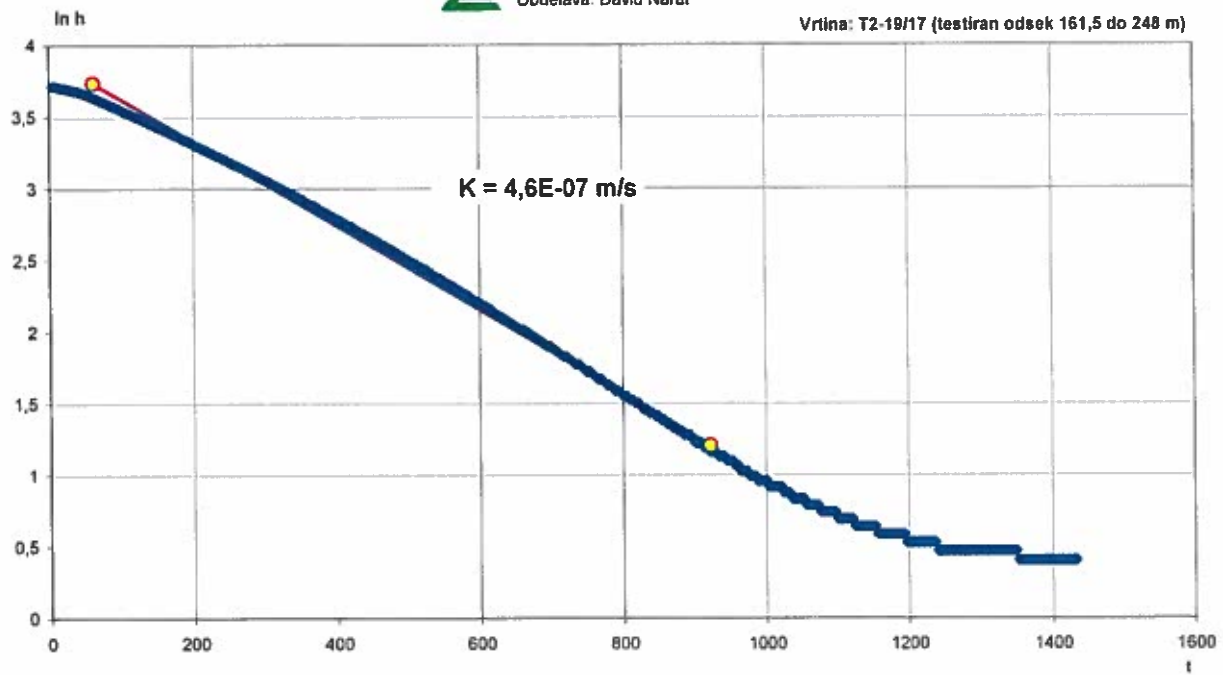




DIAGRAM HVORSLEVA

Obdelava: David Naral

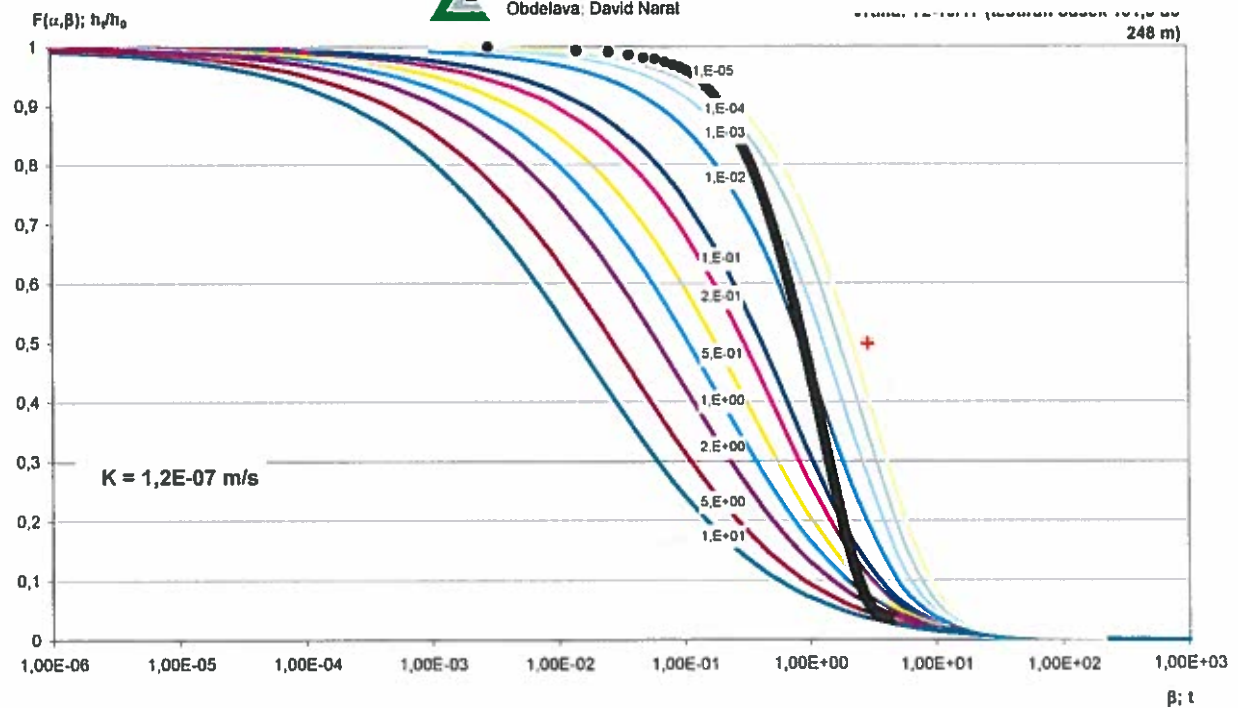
Vrtina: T2-19/17 (testiran odsek 161,5 do 248 m)



COOPERJEV DIAGRAM

Obdelava: David Naral

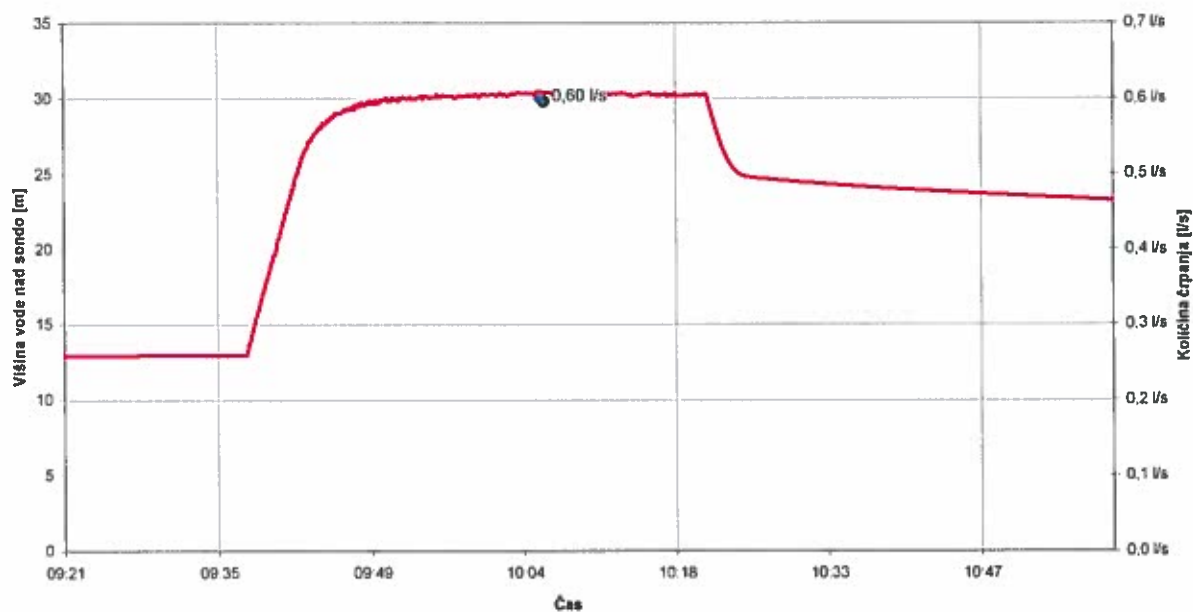
Vrtina: T2-19/17 (testiran odsek 161,5 do 248 m)





POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI

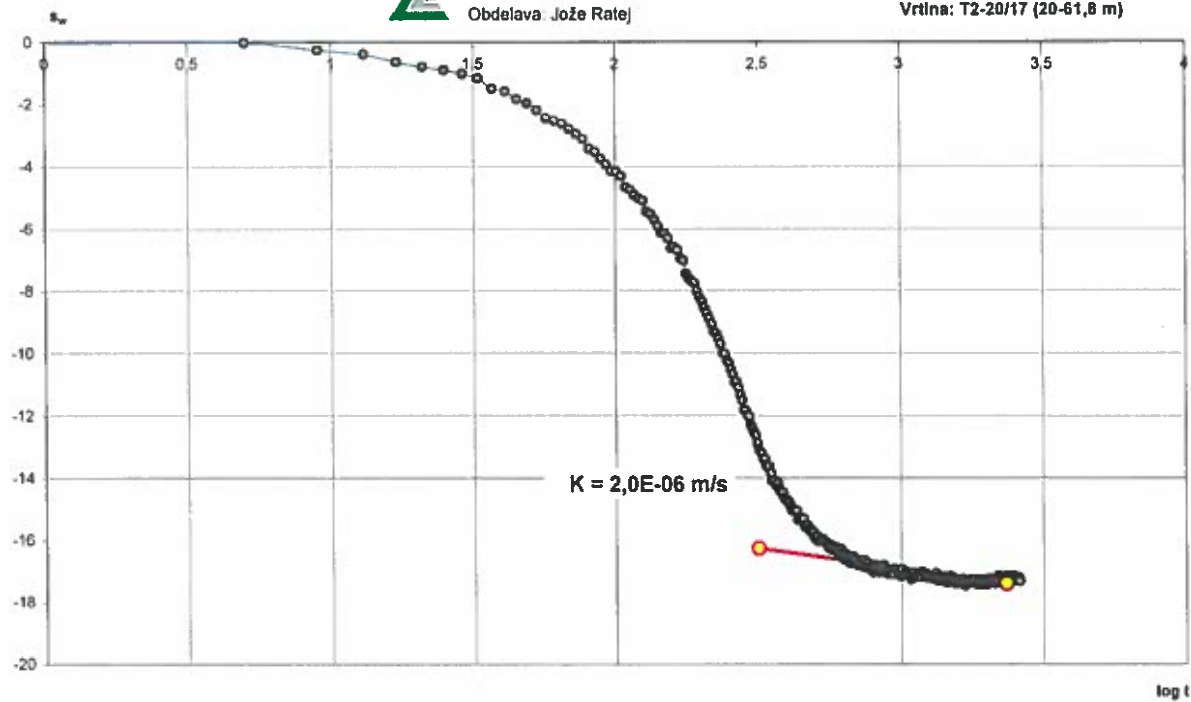
T2-20/17 (20-61,8 m)



JACOBOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

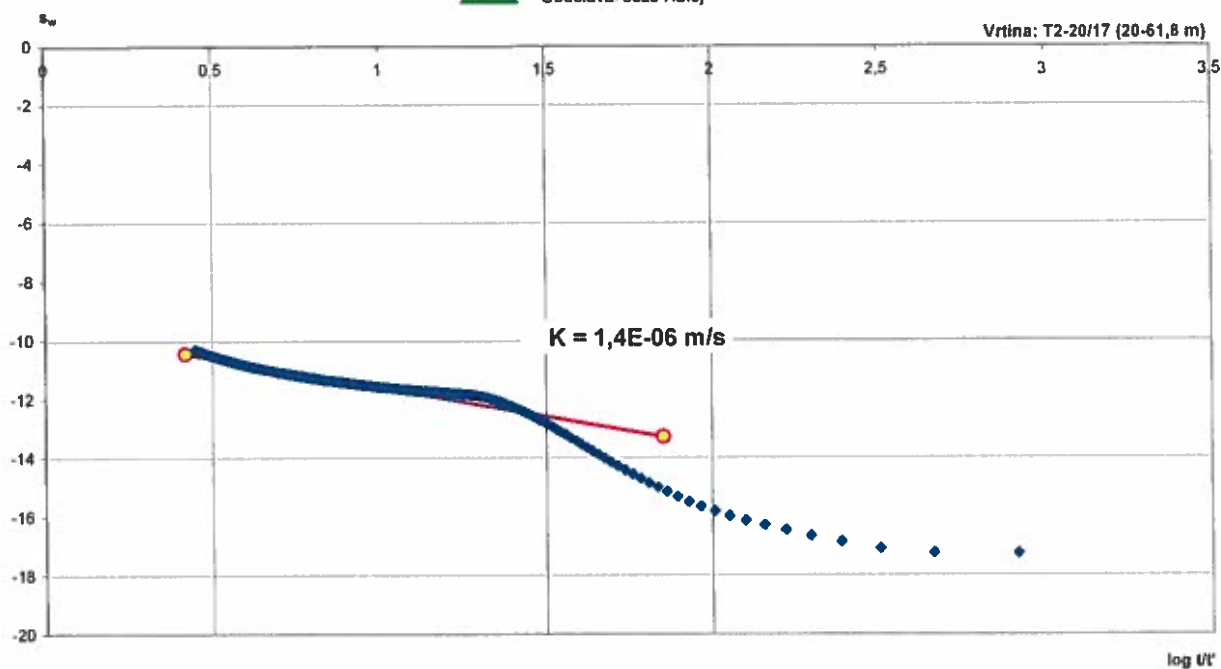
Vrtina: T2-20/17 (20-61,8 m)



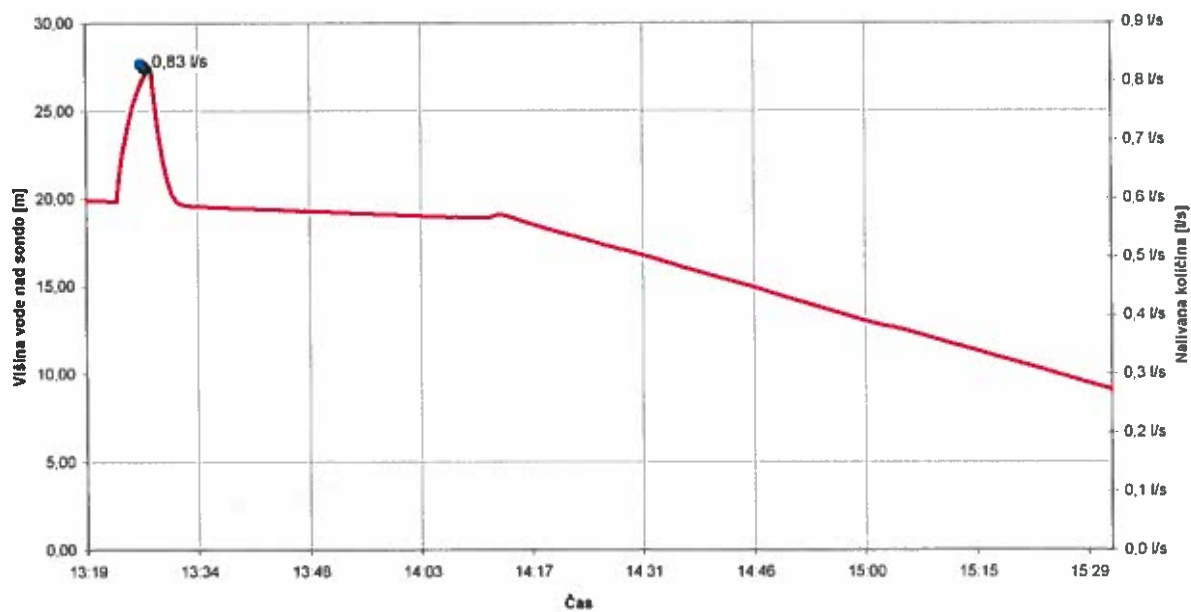


THEISOV DIAGRAM

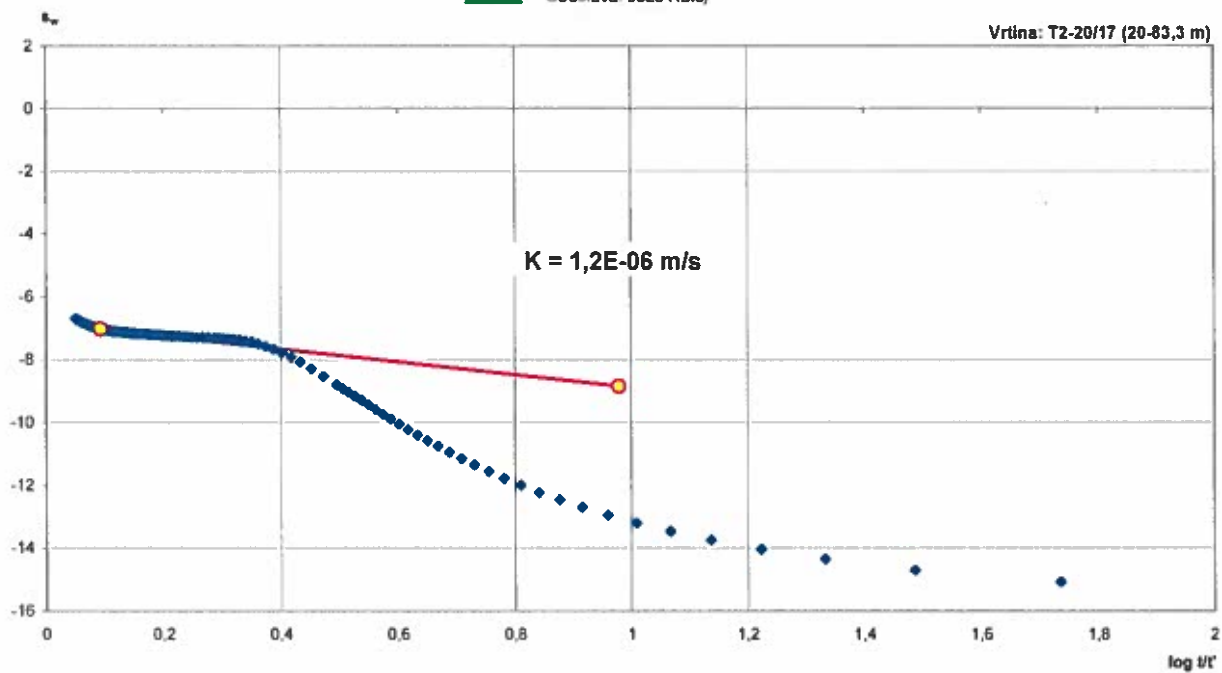
Obdelava: Jože Ratej



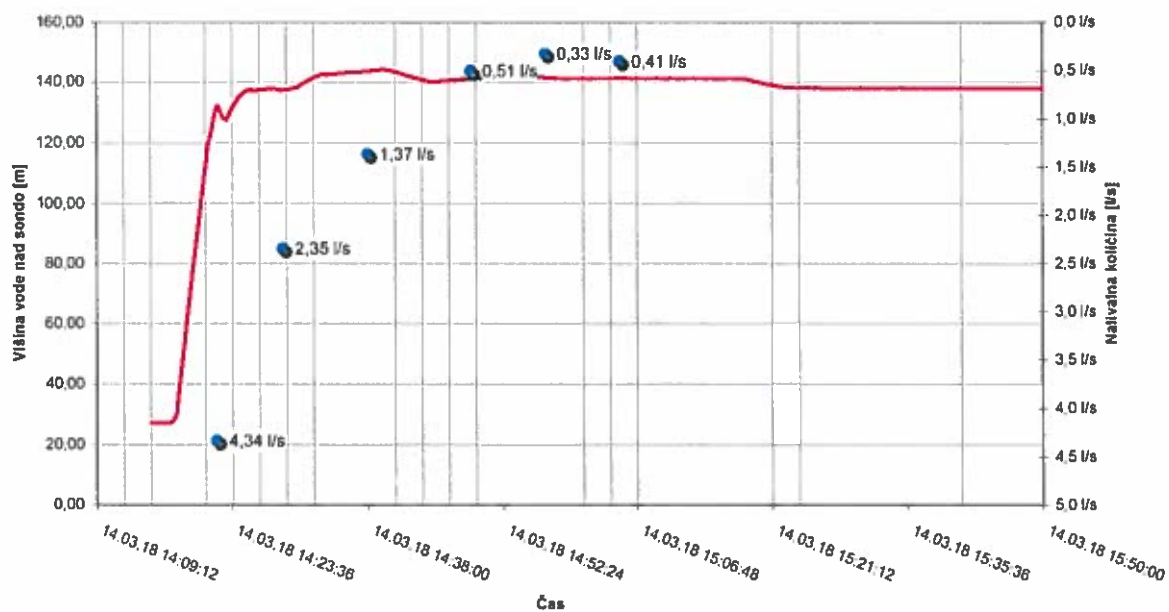
POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI T2-20/17 (20-83,3 m)

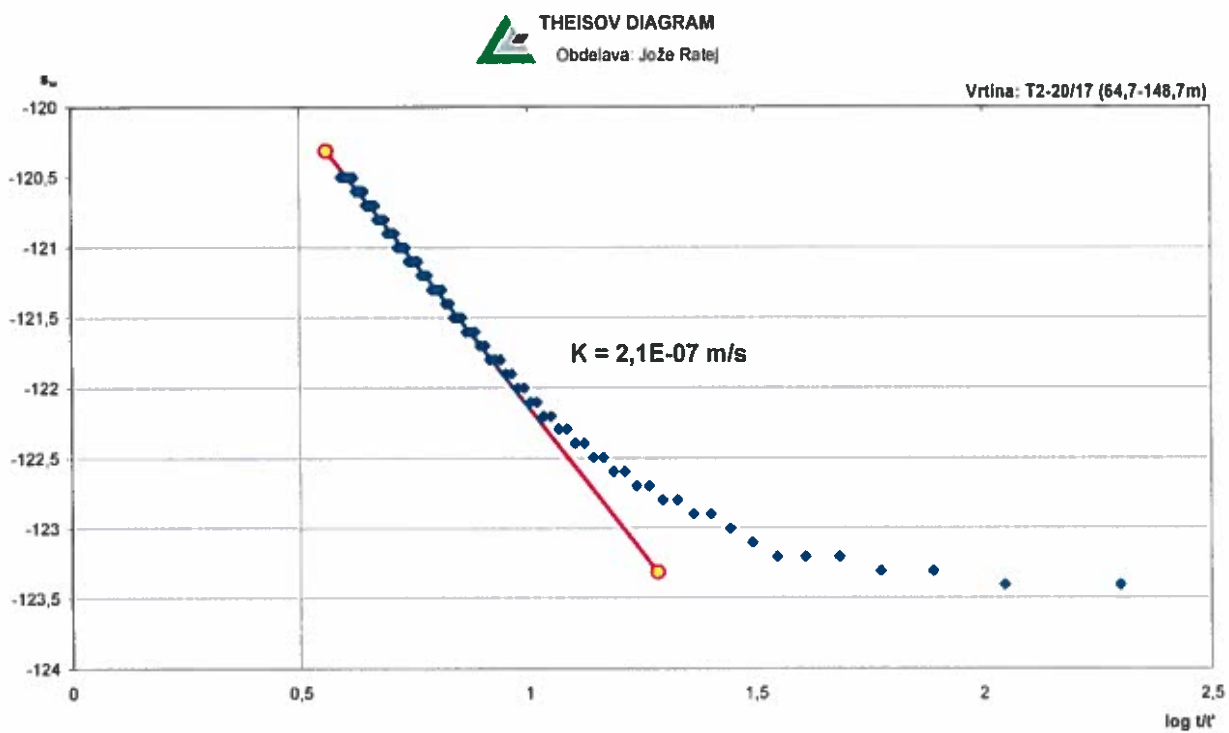
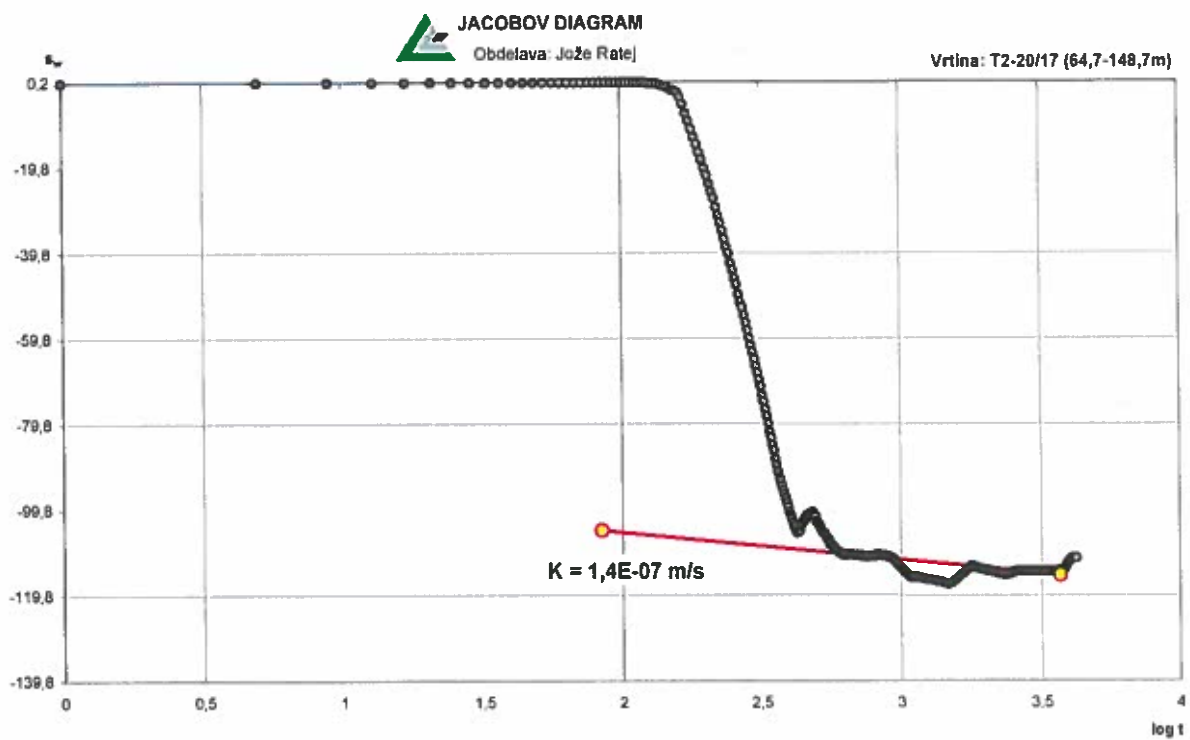


THEISOV DIAGRAM
Obdelava: Jože Ralej



POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI T2-20/17 (64,7-148,7m)

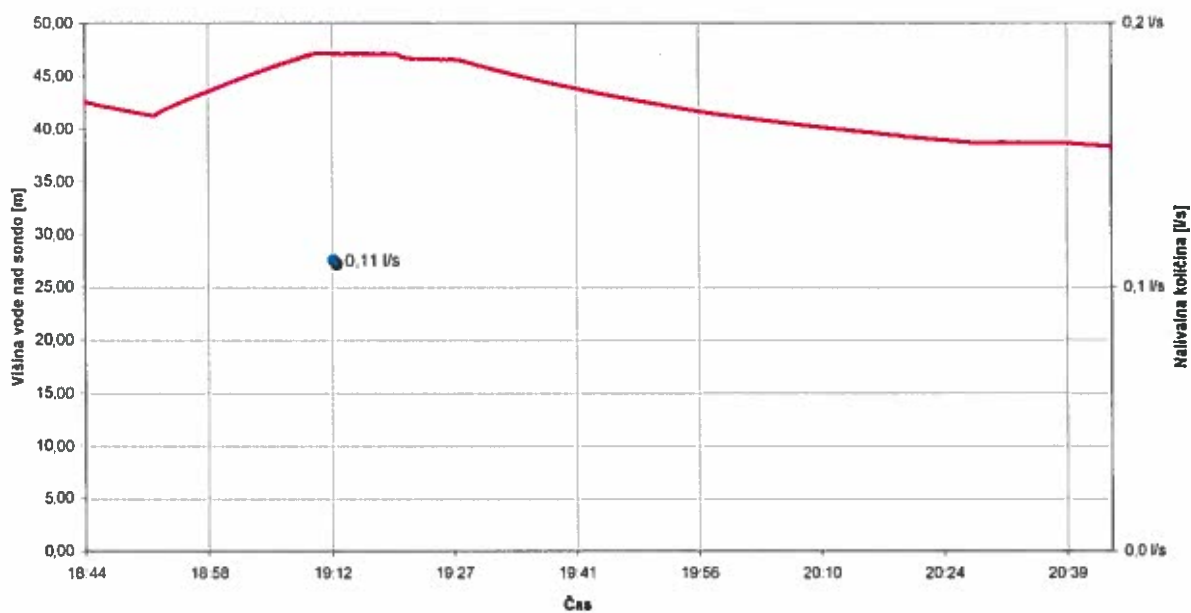






POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI

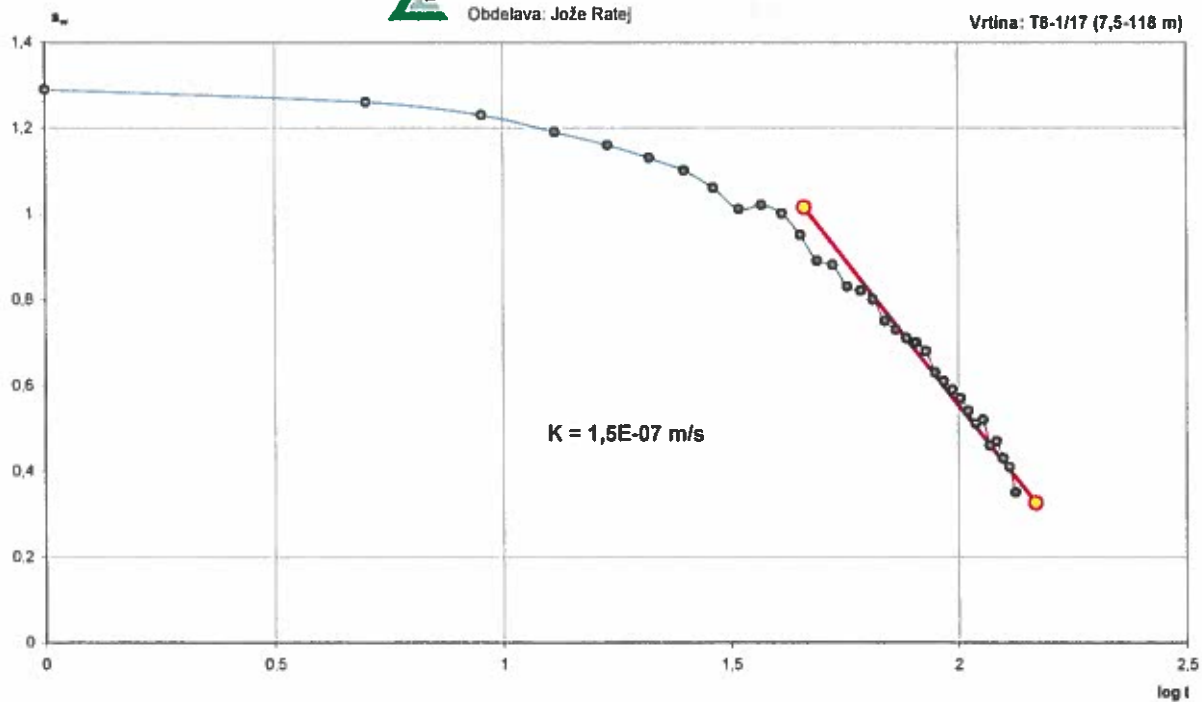
T8-1/17 (7,5-118 m)



JACOBOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

Vrtina: T8-1/17 (7,5-118 m)





POTEK HIDRAVLICNEGA POIZKUSA NA VRTINI

T8-1/17 (7,5-55,16 m)

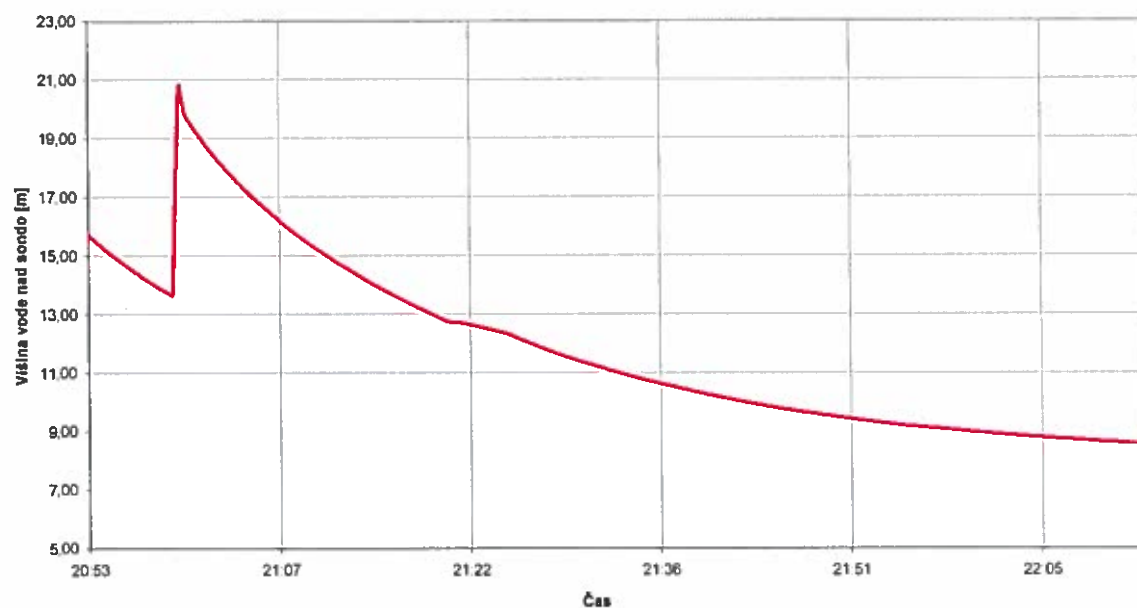
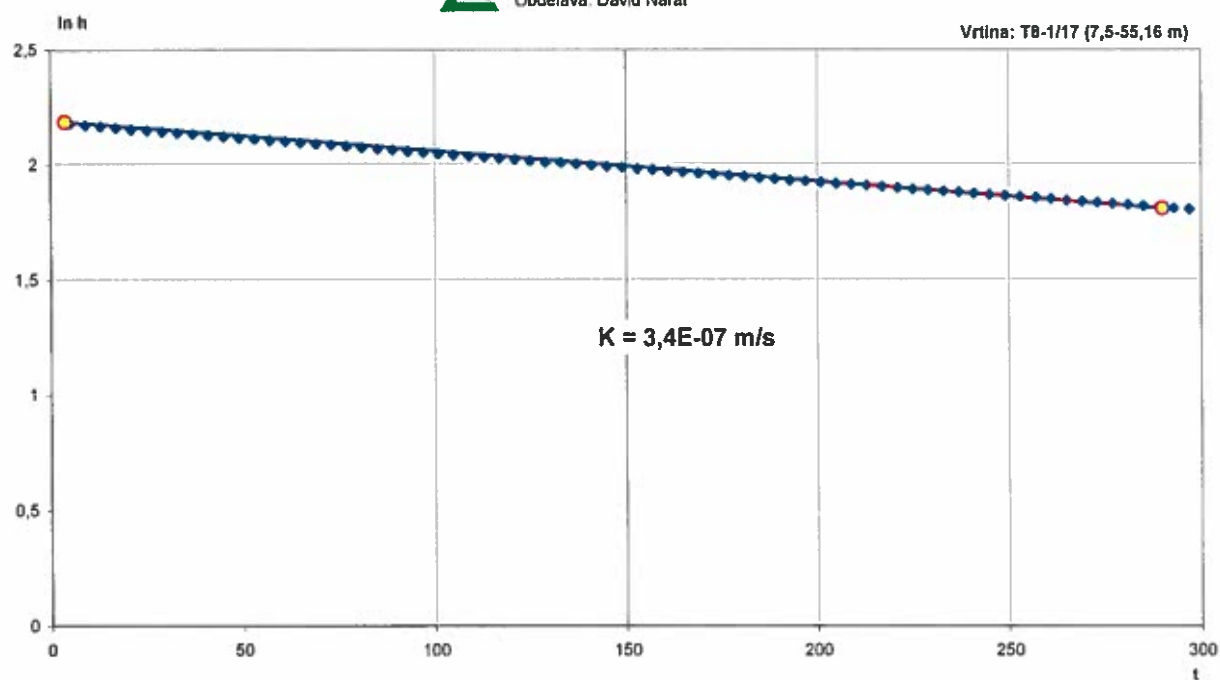
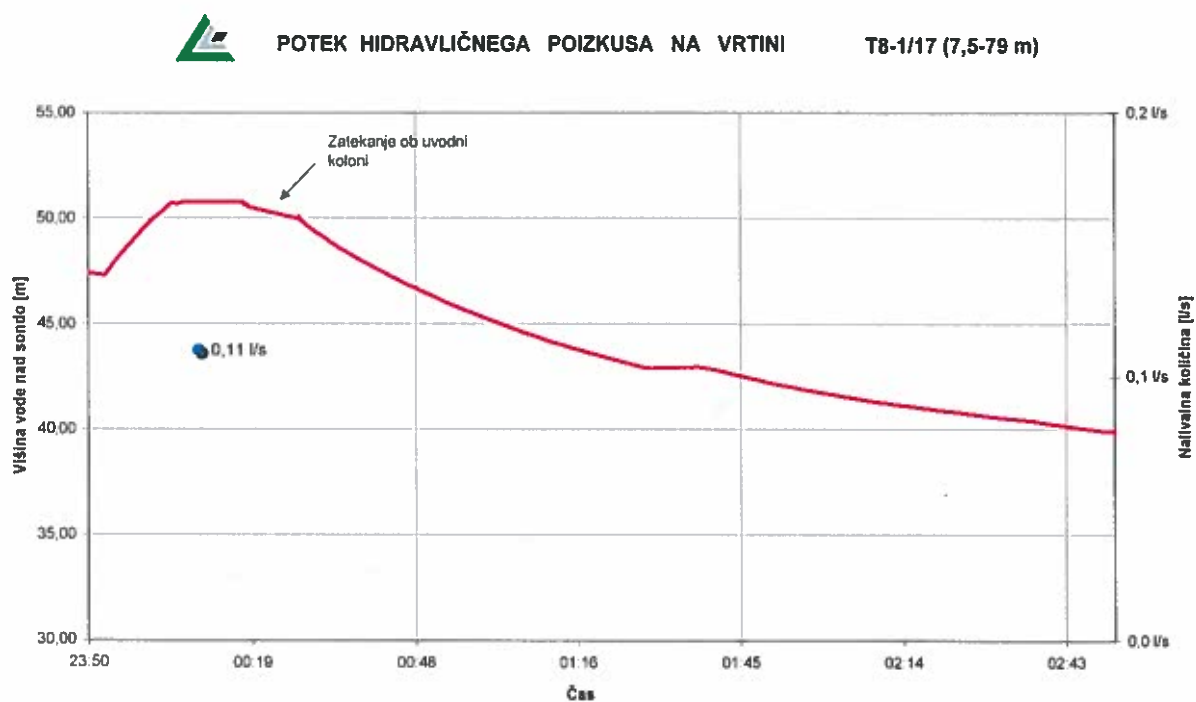
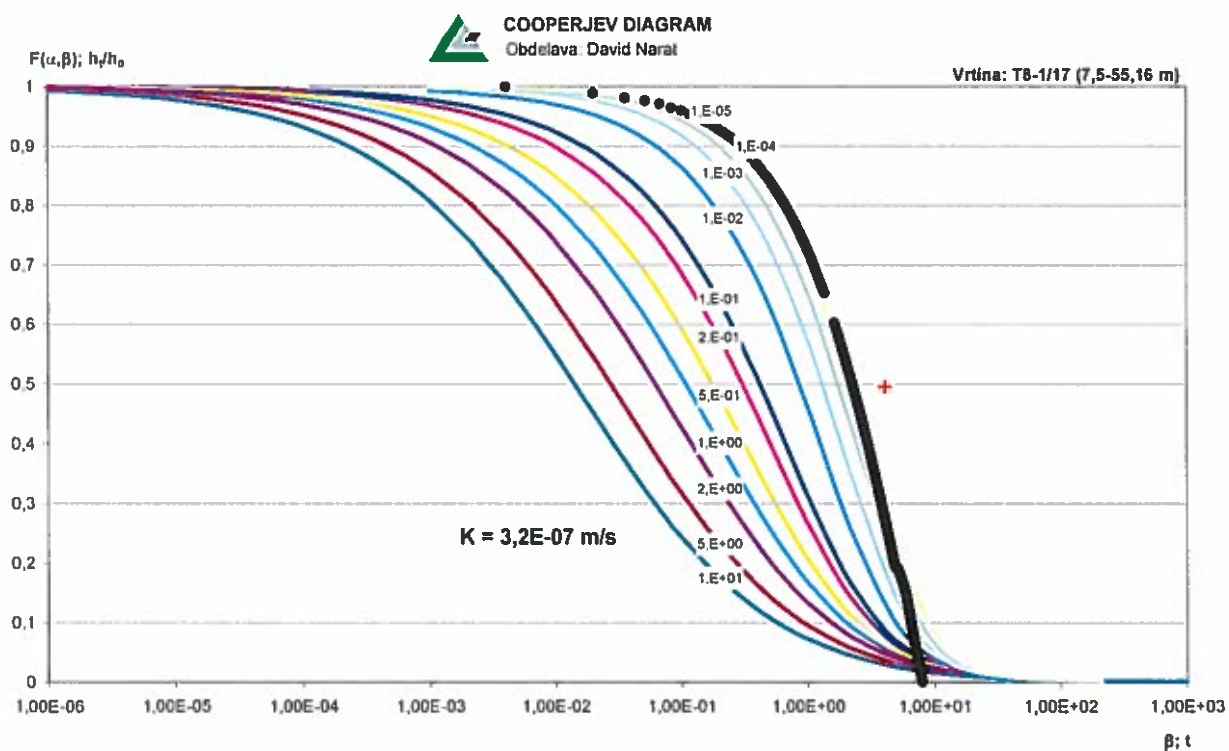


DIAGRAM HVORSLEVA

Obdelava: David Narat

Vrtina: T8-1/17 (7,5-55,16 m)



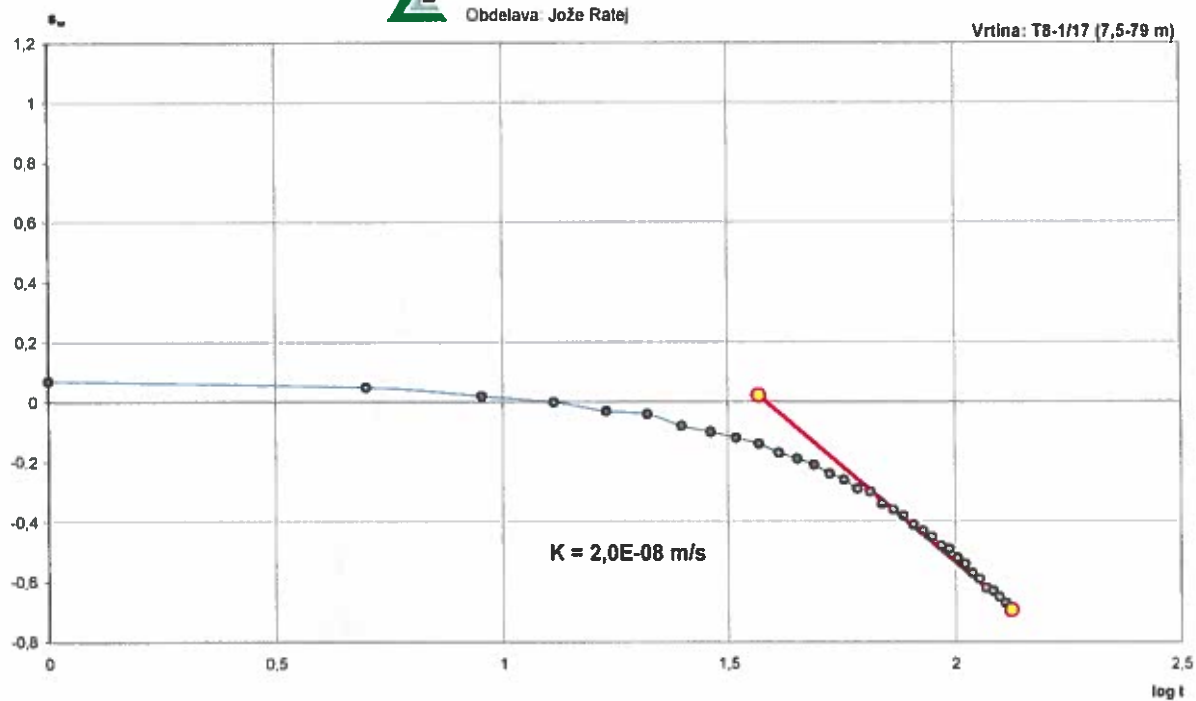




JACOBOV DIAGRAM

Obdelava: Jože Ratej

Vrtina: T8-1/17 (7,5-79 m)



THEISOV DIAGRAM

Obdelava: David Narat

Vrtina: T8-1/17 (7,5-79 m)

