

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo
geodezijo



ROMINA KORENIKA

**SIMULACIJA IZPUSTOV SLANICE Z
RAZSOLJEVALNE NAPRAVE Z MODELOM
CORMIX**

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM DRUGE STOPNJE
VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO**

Ljubljana, 2019

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo
geodezijo



Kandidatka:

ROMINA KORENIKA

**SIMULACIJA IZPUSTOV SLANICE Z
RAZSOLJEVALNE NAPRAVE Z MODELOM
CORMIX**

**SIMULATION OF BRINE DISCHARGES FROM
DESALINATION PLANTS USING CORMIX
MODEL**

Mentor:

izr. prof. dr. Dušan Žagar

Predsednik komisije:

Somentor:

doc. dr. Andrej Kryžanowski

doc. dr. Nataša Atanasova

Član komisije:

2019

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
43	6	Pri slanosti 39,1 g/l	Pri slanosti 39,1 psu
43	7	pri koncentraciji soli 40 g/l	pri slanosti 40 psu
43	9	40 psu $\approx$ 40 g/l.	40 psu.
50	Preglednica 7, 3. vrstica, 2. stolpec	76,34 g/l	76,34 g/kg
50	Preglednica 8, 9. vrstica, 2. stolpec	38,17 g/l	38,17 g/kg
51	Preglednica 10, 3. vrstica, 2. stolpec	76,18 g/l	76,18 g/kg
51	Preglednica 11, 9. vrstica, 2. stolpec	38,09 g/l	38,09 g/kg
53	Preglednica 13, 3. vrstica, 1. stolpec	Koncentracija soli [g/l]	Koncentracija soli [g/kg]
53	Preglednica 13, 34. vrstica, 2. stolpec	[g/l]	[g/kg]
54	Preglednica 14, 3. vrstica, 1. stolpec	Koncentracija soli [g/l]	Koncentracija soli [g/kg]
54	Preglednica 14, 34. vrstica, 2. stolpec	[g/l]	[g/kg]
55	11	koncentracijo < 40 g/l	koncentracijo < 40 g/kg
55	12	1,83 g/l	1,83 g/kg
56	Preglednica 15, 1. vrstica, 6. stolpec	ΔC [g/l]	ΔC [g/kg]
60	Grafikon 7, napis pri abscisni osi	g/l	psu
60	Grafikon 8, napis pri abscisni osi	g/l	psu
64	4	1,91 g/l	1,91 g/kg
65	Preglednica 16, 1. vrstica, 6. stolpec	ΔC [g/l]	ΔC [g/kg]
74	Preglednica 18, 1. vrstica, 6. stolpec	ΔC [g/l]	ΔC [g/kg]

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	502/504:628.165(262.3)(497.4)(043.3)
Avtor:	Romina Korenika
Mentor:	izr. prof. dr. Dušan Žagar
Somentor:	doc. dr. Andrej Kryžanowski
Somentorica:	doc. dr. Nataša Atanasova
Naslov:	Simulacija izpustov slanice z razsoljevalne naprave z modelom CORMIX
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	80 str., 18 pregl., 40 sl., 16 graf., 35 en., 2 pril.
Ključne besede:	razsoljevanje, reverzna osmoza, izpust slanice, okoljski vplivi, bližnje območje, model CORMIX

Izvleček

V prihodnje bo za slovensko Obalo nujno potrebno zagotoviti dodaten vir pitne vode. Ena od možnosti je razsoljevanje morske vode s postopkom reverzne osmoze (RO), ki je trenutno v poskusni uporabi v Marini Koper. V magistrski nalogi smo preučevali okoljski vpliv izpustov večjih količin slanice iz razsoljevalne naprave, ki deluje po principu RO. Kot edini indikator onesnaženja smo upoštevali koncentracijo soli in upoštevali smernice za določitev mejne vrednosti slanosti, ki se uporabljajo v Sredozemlju. V nalogi smo preučevali vpliv geometrije izpusta na razredčenje slanice in velikost območja mešanja (bližnje območje) z močno povišano slanostjo. Glede na potrebe po vodi v različnih letnih časih smo izbrali dva režima obratovanja razsoljevalne naprave, 240 l/s poleti in 60 l/s pozimi. Poiskali smo optimalno konfiguracijo izpusta, ki podaja najmanjšo površino bližnjega območja, kjer je še zagotovljeno ustrezno razredčenje. Ob polnem obratovanju v izbranih, za mešanje neugodnih pogojih, znaša prizadeta površina do 2100 m², ob znižanem obratovanju pa je približno osemkrat manjša. Ob upoštevanju prekrivanja obeh območij je skupna površina bližnjega območja manjša od 2300 m². Za bolj točno oceno razredčenja in velikosti bližnjega območja bodo potrebne dodatne meritve na lokaciji potencialne razsoljevalne naprave.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 502/504:628.165(262.3)(497.4)(043.3)
Author: Romina Korenika
Supervisor: Assoc. Prof. Dušan Žagar, Ph. D.
Somentor: Assist. Prof. Andrej Kryžanowski, Ph. D.
Somentorica: Assist. Prof. Nataša Atanasova, Ph. D.
Title: Simulation of brine discharges from desalination plants using CORMIX model
Document Type: Master Thesis
Scope and tools: 80 p., 18 tab., 40 fig., 16 graph., 35 eq., 2 ann.
Key words: desalination, reverse osmosis, brine discharge, environmental impact, near-field, CORMIX model

Abstract

In the future, the Slovene coastal area will be in dire need of an additional source of drinking water. A possible solution is desalination of seawater with reverse osmosis (RO), currently being tested in Marina Koper. In the thesis we analysed the environmental impact of larger brine discharges from a RO desalination plant. Salinity of the discharge was used as the only indicator of pollution in this analysis, and the salinity threshold concentrations used in the Mediterranean area were taken into account. We analysed the impact of the discharge geometry on brine dilution and on the size of the mixing zone (near field) with significantly elevated salinity. Based on the water demand during various seasons, two operating regimes were chosen for the desalination plant: 240 l/s during the summer and 60 l/s in winter. The optimal discharge configuration – the smallest near field that still ensures adequate desalination – was determined. At the full operating capacity in the selected conditions, unfavourable for mixing, the affected area measures around 2100 m²; at the lower operating capacity this area is about eight times smaller. For a more precise evaluation of the dilution processes and the size of the near field, further measurements at the site of the potential desalination plant are necessary.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju, izr. prof. dr. Dušanu Žagarju za trud, pomoč in spodbudo pri nastajanju magistrske naloge in tekom celotnega študija.

Zahvaljujem se somentorjema doc. dr. Andreju Kryžanowskemu in doc. dr. Nataši Atanasovi.

Zahvaljujem se tudi dr. Janji Francé in prof. dr. Vladu Malačiču iz Morske biološke postaje Piran za pomoč in poslane podatke.

Nazadnje pa se zahvaljujem svoji družini za vso podporo v času študija.

KAZALO VSEBINE

Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček	I
Bibliographic – documentalistic information and abstract	II
Zahvala	III
1 UVOD	1
2 METODOLOGIJA	4
2.1 Razsoljevalne tehnologije	4
2.2 Reverzna osmoza	5
2.3 Zajem morske vode	6
2.4 Izpusti iz razsoljevalnih naprav	9
2.4.1 Okoljski vplivi	9
2.4.1.1 Slanost, temperatura in gostota vode	9
2.4.1.2 Ostanki biocidov	10
2.4.1.2.1 Klor	10
2.4.1.2.2 Stranski produkti kloriranja	10
2.4.1.3 Koagulanti	10
2.4.1.4 Antiskalanti	11
2.4.1.5 Kovine	11
2.4.1.6 Kemikalije za čiščenje membran	12
2.4.1.7 Kumulativni vplivi in potrebne raziskave	12
2.4.2 Vrste izpustov slanice	13
2.4.2.1 Izpust slanice v površinske vode	13
2.4.2.1.1 Difuzorji	14
2.4.2.1.2 Podzemni izpusti	15
2.4.2.2 Injiciranje v tla	15
2.4.2.3 Mešanje slanice s komunalno odpadno vodo	15
2.4.2.4 Mešanje slanice s hladilno vodo	16
2.4.2.5 Sončno izhlapevanje	16
2.4.2.6 Fitorazsoljevanje (rastlinsko razsoljevanje)	16
2.5 Okoljske zahteve	16
2.5.1 Kemijsko in ekološko stanje slovenskega morja	17
2.6 Modeliranje izpustov slanice	18
2.6.1 Delitev območij	18
2.6.1.1 Bližnje območje (Near field)	19
2.6.1.2 Oddaljeno območje (far field)	21
2.6.2 Nomogrami	23
2.6.2.1 Kalkulator gostote in viskoznosti	24
2.6.2.2 Kalkulator izpusta	27
2.6.2.3 Analiza merila in klasifikacija pretoka	28
2.6.3 Modeli za bližnje območje (Near-field models)	33
2.6.3.1 VisJet	34
2.6.3.2 CORMIX	34
2.6.3.3 Vhodni podatki	35
2.6.3.3.1 Opis projekta	35
2.6.3.3.2 Lastnosti odpadne vode	36

2.6.3.3.3	Razmere v okolici izpusta	36
2.6.3.3.4	Pogoji na izpustu	37
2.6.3.3.5	Definicija območja mešanja	41
2.6.3.3.6	Izhodni podatki	41
2.6.4	Modeli za oddaljeno območje (Far-field models)	41
3	VHODNI PODATKI ZA SIMULACIJE ŠIRJENJA SLANICE V BLIŽNJEM OBMOČJU	42
3.1	Potreba po vodi	42
3.2	Podatki o razsoljevalni napravi	42
3.3	Okoljske zahteve	42
3.4	Zahteve razredčenja	43
3.5	Meritve stanja (slanost, temperatura)	43
3.6	Tokovi	49
3.7	Podatki za Primer 1 – izpust 60 L/s	49
3.8	Podatki za Primer 2 – izpust 240 L/s	51
3.8.1.1		51
4	REZULTATI	53
4.1	Preliminarni račun redčenja slanice s kalkulatorjem izpusta-RO	53
4.2	Rezultati simulacij z modelom Cormix	55
4.2.1	Primer 1 – izpust z eno odprtino	55
4.2.2	Primer 2 – izpust z štirimi odprtinami	64
4.2.2.2	Primer neenakomerne razporeditve gostote	73
4.3	Optimizacija	75
5	ZAKLJUČEK	77
	VIRI	78
	SEZNAM PRILOG	80

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki o merilnih mestih (http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/kakovost_arhiv2017.html)	43
Preglednica 2: Osnovni statistični parametri mesečnih vrednosti za slanost in temperaturo vode merjenih v točki K	44
Preglednica 3: Osnovni statistični parametri mesečnih vrednosti za slanost in temperaturo vode merjenih v točki F	46
Preglednica 4: Slanost v kritičnih mesecih	49
Preglednica 5: Temperatura vode v kritičnih mesecih	49
Preglednica 6: Absolutne hitrosti okoliškega toka v obravnavanih mesecih	49
Preglednica 7: Primer 1 - lastnosti slanice	50
Preglednica 8: Primer 1 - razmere v okolici izpusta	50
Preglednica 9: Primer 1 - vhodni podatki izpusta	51
Preglednica 10: Primer 2 - lastnosti slanice	51
Preglednica 11: Primer 2 - razmere v okolici izpusta	51
Preglednica 12: Primer 2 - vhodni podatki izpusta	52
Preglednica 13: Izračun koncentracije soli s Kalkulatorjem izpusta-RO v zimskem času (Primer 1 - izpust 60 L/s)	53
Preglednica 14: Izračun koncentracije soli s Kalkulatorjem izpusta-RO v poletnem času (Primer 2 - izpust z štirimi odprtini)	54
Preglednica 15: Rezultati simulacij v CORMIXU za različne scenarije za Primer 1: zimske razmere s pretokom slanice 60 L/s	56
Preglednica 16: Rezultati simulacij v CORMIXU za različne scenarije za Primer 2: poletne razmere s pretokom slanice 240 L/s	65
Preglednica 17: Vhodni podatki za neenakomerno razporeditev gostote – Primer 2	74
Preglednica 18: Rezultati simulacij v CORMIXU za različne scenarije za neenakomerno razporeditev gostote – Primer 2: poletne razmere s pretokom slanice 240 l/s	74

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1:	Grafični prikaz povprečnih mesečnih vrednosti slanosti s standardnimi odkloni	48
Grafikon 2:	Grafični prikaz površine bližnjega območja za različne scenarije za Primer 1	57
Grafikon 3:	Grafični prikaz razredčenja v odvisnosti od okoliškega toka za Primer 1	57
Grafikon 4:	Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od okoliškega toka za Primer 1	58
Grafikon 5:	Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od premera odprtine in vertikalnega kota θ pri $Ua = 0,08$ m/s za Primer 1	59
Grafikon 6:	Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od premera odprtine in vertikalnega kota θ pri $Ua = 0,125$ m/s za Primer 1	59
Grafikon 7:	Grafični prikaz slanosti v odvisnosti od površine bližnjega območja za $Ua = 0,08$ m/s za Primer 1	60
Grafikon 8:	Grafični prikaz slanosti v odvisnosti od površine bližnjega območja za $Ua = 0,125$ m/s za Primer 1	60
Grafikon 9:	Grafični prikaz površine bližnjega območja za različne scenarije za Primer 2	66
Grafikon 10:	Grafični prikaz razredčenja v odvisnosti od okoliškega toka za Primer 2	66
Grafikon 11:	Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od okoliškega toka za Primer 2	67
Grafikon 12:	Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od premera odprtine in vertikalnega kota θ pri $Ua = 0,087$ m/s za Primer 2	67
Grafikon 13:	Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od premera odprtine in vertikalnega kota θ pri $Ua = 0,155$ m/s za Primer 2	68
Grafikon 14:	Grafični prikaz slanosti v odvisnosti od površine bližnjega območja $Ua = 0,087$ m/s za Primer 2	69
Grafikon 15:	Grafični prikaz slanosti v odvisnosti od površine bližnjega območja $Ua = 0,155$ m/s za Primer 2	69
Grafikon 16:	Grafični prikaz primerjave razredčenja za enake scenarije pri enakomerni in neenakomerni razporeditvi gostote za konfiguracijo tipa A za Primer 2	74

KAZALO SLIK

Slika 1:	Razdelitev razsoljevalnih tehnologij glede na način ločevanja (povzeto po Cipollina, 2009)	5
Slika 2:	Primer spiralno navitega membranskega modula (povzeto po https://web.utk.edu/~qhe2/MembraneModule/TMU-Membranes.html?menu)	6
Slika 3:	Pokrov za odprti zajem (Bleninger in Jirka, 2010)	7
Slika 4:	Tloris (zgoraj) in prečni prerez (spodaj) podvodnega zajema: vertikalni vodnjaki, vodoravni radialni vodnjak, vodoravne drenaže (povzeto po Lattemann, 2010)	8
Slika 5:	Primer zajema z infiltracijo skozi morsko dno (zgoraj) in z vodoravnimi drenažami (spodaj) (povzeto po Bleninger in Jirka, 2010)	9
Slika 6:	Obnašanje slanice na izpustu (podvodni, enojni izpust) (povzeto po Bleninger in Jirka, 2010)	14
Slika 7:	Prečni prerez in tloris rozete (zgoraj) in difuzorja na cevovodu (spodaj) (povzeto po Lattemann, 2010)	15
Slika 8:	Tipični primeri curka iz podvodnega izpusta v različnih okoljskih pogojih (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)	19
Slika 9:	Primeri recirkulacije dolvodno od izpusta (wake attachment) in lepljenje curka ob steno (Coanda attachment) za curke iz izpustov v bližini meje modela (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)	20
Slika 10:	Tipične oblike mešanja površinskega izpusta (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)	20
Slika 11:	Oblika širjenja oblaka slanice v oddaljenem območju ob stratifikaciji (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)	21
Slika 12:	Pasivna oblika mešanja v nestratificiranem recipientu (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)	21
Slika 13:	Tipična prostorska in časovna merila transporta in procesov mešanja, povezana z odvajanjem odpadnih voda v morje in zmogljivostjo modelov (povzeto po Bleninger in Jirka, 2010)	23
Slika 14:	Shematski prikaz splošnih parametrov kalkulatorja izpusta-RO v prečnem prerezu, na primeru izpusta z negativnim vzgonskim tokom v odvodnik z nagnjenim dnom (povzeto po Bleninger in Jirka, 2010)	24
Slika 15:	Preglednica kalkulatorja gostote (Bleninger in Jirka, 2010)	26
Slika 16:	Nomograma za določanje gostote slanice ali morske vode in viskoznosti za različne slanosti in temperature, ki uporabljata enačbo El-Dessouky in Ettouny (2002) (Bleninger in Jirka, 2010)	26
Slika 17:	Preglednica kalkulatorja izpustov-RO, ki določa končne lastnosti odtoka (Bleninger in Jirka, 2010)	27
Slika 18:	Prehod curka v oblak na dolžini L_M	30
Slika 19:	Preglednica kalkulatorja izpustov-RO, ki določa značilne parametre izpusta (Bleninger in Jirka, 2010)	32
Slika 20:	Preglednica kalkulatorja izpustov-MSF, ki določa značilne parametre izpusta (Bleninger in Jirka, 2010)	33
Slika 21:	Prikaz površin bližnjega območja za izpust z eno in več odprtinami (prirejeno po Bleninger in Jirka, 2010)	35
Slika 22:	Tipi statifikacije (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)	36
Slika 23:	Grafični prikaz vhodnih podatkov za podvodni enojni izpust in omejitve (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)	37
Slika 24:	Grafični prikaz vhodnih podatkov za izpust z več odprtinami in omejitve (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)	38

Slika 25: Primeri enosmernih difuzorjev v tlorisu. Ti difuzorji proizvajajo neto horizontalni pretok gibalne količine, ki je pravokoten na linijo difuzorja. V vseh primerih je $\gamma = 90^\circ$ (povzeto po Doneker in Jirka, 2017).	39
Slika 26: Primeri stopenjskih difuzorjev v tlorisu. Ti difuzorji proizvajajo neto horizontalni pretok gibalne količine, vzporeden z linijo difuzorja. V vseh primerih je $\gamma = 90^\circ$ (povzeto po Doneker in Jirka, 2017).	39
Slika 27: Primeri izmeničnih difuzorjev v tlorisu. Ti difuzorji ne proizvajajo neto horizontalnega toka gibalne količine. V vseh primerih je $\gamma = 90^\circ$ V primeru D so prisotne samo vertikalne odprtine (povzeto po Doneker in Jirka, 2017).	40
Slika 28: Lokacija točk izvajanja meritev fizikalno kemijskih parametrov (Google Earth)	44
Slika 29: Tipi konfiguracij izpusta za Primer 1	50
Slika 30: Tipi konfiguracij izpusta za Primer 2	52
Slika 31: Tloris bližnjega območja na primeru izpusta z eno odprtino	55
Slika 32: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 2-Primer 1	61
Slika 33: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 22-Primer 1	62
Slika 34: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 3-Primer 1	63
Slika 35: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 23-Primer 1	64
Slika 36: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 7-Primer 2	70
Slika 37: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 19-Primer 2	71
Slika 38: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 21-Primer 2	72
Slika 39: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 20-Primer 2	73
Slika 40: Grafični prikaz primerjave razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 31-Primer 1 in scenarij 19-Primer 2	76

1 UVOD

Slovenija je po količini vode ena najbogatejših evropskih držav, vendar ta količina prostorsko ni enakomerno razporejena. V Obalni regiji se vsako poletje, tako zaradi suše, kot zaradi turizma srečujejo s pomanjkanjem pitne vode in so zato prisiljeni vodo kupovati od hrvaškega Istrskega vodovoda ter Kraškega vodovoda Sežana. V Rižanskem vodovodu Koper, ki oskrbuje Slovensko Istro s pitno vodo, se v zadnjih letih ukvarjajo s preučevanjem različnih možnosti za dodatno oskrbo s pitno vodo, ena od možnosti je desalinizacija ali razsoljevanje morske vode, kot dopolnilni vir pitne vode. Pilotna razsoljevalna naprava je že postavljena v koprski marini, za dejansko razsoljevalno napravo pa lokacija še ni znana. Ena od možnosti je, da bi naprava stala v Izoli, v Viližanskem zalivu.

Zagotavljanje virov pitne vode s pomočjo razsoljevalnih naprav je zelo razširjeno na območju Sredozemskega in Rdečega morja ter Perzijskega zaliva. V Sredozemlju znaša skupna kapaciteta vseh razsoljevalnih naprav 4 milijone m³ pitne vode na dan (14 % svetovne kapacitete). Največji proizvajalec pitne vode z razsoljevanjem v Sredozemlju je Španija (8 % svetovne proizvodnje oz. 2,2 milijona m³ pitne vode na dan) (Lattemann, 2010). Kapaciteta proizvodnje pitne vode z razsoljevanjem znaša na območju Rdečega morja 3,6 milijona m³ pitne vode na dan (13 % svetovne kapacitete), v Perzijskem zalivu pa 12,1 milijona m³ pitne vode na dan (44 % svetovne kapacitete) (Lattemann, 2010). Obstajajo različne tehnologije razsoljevanja morske vode. Na Bližnjem vzhodu je najpogostejše uporabljena termična tehnologija, ki velja za najstarejšo metodo razsoljevanja, v Sredozemlju pa prevladujejo novejša, membranske tehnologije, med katerimi je najpogostejša reverzna osmoza (Lattemann, 2010). Slednje se na pilotni napravi poslužujejo tudi v Rižanskem vodovodu Koper, zato bomo v nadaljevanju posvetili večjo pozornost izključno tej tehnologiji.

Glavna pomanjkljivost reverzne osmoze poleg velike porabe energije v primerjavi z drugimi postopki (npr. Burns, 2013) je, da pri procesu nastaja velika količina odpadne slanice, ki lahko predstavlja negativen vpliv na morsko okolje. Slanica je koncentrat, katerega koncentracija variira v odvisnosti od učinkovitosti sistema. Običajno je slanost dvakratna od zajete vode. Poleg soli so v slanici prisotne še druge kemikalije, ki se uporabljajo v postopkih predpriprave vode in za vzdrževanje naprave (Gregorič, 2016). Zajem vode za razsoljevanje predstavlja dodatno skrb za okolje oziroma potencialno grožnjo za morski ekosistem. Z velikim hitrostmi na zajemu morske vode obstaja nevarnost, da ribe in drugi večji morski organizmi ostanejo zatakneni v mrežnih filtrih, s katerimi preprečujemo vstop organizmom v dovodno cev. Za organizme, ki potujejo s tokom (larve, plankton), pa so filtri običajno letalni. Neustrezno izvedeni zajemi na morskem dnu lahko povzročijo lokalne turbulence in onemogočajo razvoj morskega dna. Z zajemi na odprtem morju se uničijo večje količine iker, alg in planktona, kar vpliva na dinamiko ekosistema oziroma sposobnost določenih vrst, da ohranjajo zadostno populacijo. Z zmanjšanjem hitrosti vode pri zajemu na 0,1 m/s omogočimo, da vsaj aktivne živali iz njega odplavajo (Lattemann, 2009, cit. po Gregorič, 2016). Pred načrtovanjem kakršnekoli razsoljevalne naprave je torej nujno potrebno opraviti analizo vplivov na okolje in sistem optimizirati glede na okoljske zahteve.

Na splošno je na razpolago zelo malo podatkov o vplivih, ki jih imajo naprave za razsoljevanje na morsko okolje. Še manj je na razpolago podatkov s katerimi bi lahko ovrednotili vpliv izpustov slanice na morsko okolje, z namenom določanja okoljskih predpisov in smernic za načrtovanje razsoljevalnih naprav. Razporeditev slanice po izpustu je odvisna od vrste izpusta, hitrosti mešanja in transportne kapacitete prevladujočih tokov. Prva dva sta glavna projektna parametra, medtem ko ima zadnji le posredni vpliv na ustrezno postavitve izpusta. Težave povezane z računom mešanja predstavljajo kompleksen problem. Izpusti iz razsoljevalnih naprav imajo zaradi visoke koncentracije soli večjo gostoto od morja. V primeru površinskega izpusta slanica tone in se širi po dnu. Mešanje je v takem primeru zelo slabo in negativno vpliva na bentoške združbe in na celoten živelj na območju izpusta. V

primeru izpusta slanice iz termičnih postopkov ima slednja nižjo koncentracijo soli in višjo temperaturo od okolja in zato posledično manjšo relativno gostoto ter se zato običajno širi višje v vodnem stolpcu. Za zmanjšanje razlik v gostoti in zagotovitev začetnega mešanja se uporabljajo ustrezne šobe in druge tehnologije (npr. mešanje odpadne slanice z izpusti hladilnih voda). Visoko stopnjo mešanja se lahko doseže s podvodnimi izpusti, speljanimi daleč od obale na območja z bolj izrazitimi morskimi tokovi. Za razliko od površinskih izpustov, pri katerih se oblak slanice širi bližje gladine, je bilo za primere, ko oblak slanice tone proti dnu pri različnih konfiguracijah izpustov opravljenih zelo malo študij. V najstarejši študiji so Zeitoun in sod. (1970) na podlagi laboratorijskih poskusov poskušali določiti povezavo med naklonom šobe in širjenjem izpusta slanice. Uporabljeni so bili nakloni 30°, 45°, 60° in 90° glede na horizontalo. Meritve so pokazale, da je največja stopnja razredčenja dosežena pri kotu 60°. Predlog optimalnega kota 60° je bil prevzet v nadaljnjih študijah, kjer so Pincince in List (1973), Roberts in Toms (1987) ter Roberts in sod. (1997) raziskovali mešanje in trajektorijo curka v stoječih (mirujočih) in različnih pretočnih razmerah. Na podlagi rezultatov študije Roberts in sod. (1997) je bil kot 60° sprejet kot standard pri projektiranju izpustov slanice, kar pa je presenetljivo glede na študijo Zeitoun in sod. (1970), ki je pokazala precejšnjo negotovost merilne tehnike in podala zelo variabilne in nepredvidljive rezultate, kot navajajo v objavljeni študiji Roberts in Toms (1987). V novejših raziskavah so Cipollina in sod. (2005) raziskovali konfiguracije z nakloni šob 30°, 45° in 60°. Izvedene meritve so bile omejene na trajektorijo curka in zato niso vključevale vrednosti razredčenja, ki so kritični dejavnik za analizo vplivov na okolje. Poleg tega so vse študije do leta 2008 (Bleninger in Jirka, 2008) obravnavale le napovedi za bližnje območje (območje intenzivnega mešanja) in niso vključevale vmesnega in oddaljenega območja, za kateri je prav tako potrebno napovedati vplive izpustov slanice na podlagi znanih ali predvidenih morskih tokov. Kljub velikemu napredku pri načrtovanju izpustov slanice so na tem področju še vedno prisotne pomanjkljivosti v znanju in načrtovanju. Glede na pomanjkanje zanesljivih podatkov, predvsem v primerih slanice z večjo relativno gostoto, ki se širi po dnu, velja omeniti, da so priporočila za projektiranje izpustov le začasne narave. Sodobnejše študije so zasnovane na moderni laboratorijski tehniki, npr. lasersko inducirani fluorescenci (LIF) in velocimetriji slike delcev (Particle Image Velocimetry - PIV) in so računalniško podprte z metodami računa dinamike tekočin (CFD – Computational Fluid Dynamics) (Bleninger in Jirka, 2008).

Pogosto se za modeliranje izpustov industrijskih odpadnih voda in hladilnih voda v recipientu uporablja model CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System, www.cormix.info). Uporablja se predvsem za račun mešanja v bližnjem območju za pozitivni vzgonski tok. Programsko orodje omogoča načrtovanje pozitivnih vzgonskih izpustov iz sproizvodnje toplote in električne energije z velikimi pretoki hladilne vode (tudi nad 50 m³/s). V začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja je Electric Power Research Institute (EPRI) izvedel posebne predhodne razširitve modela za negativni vzgonski pretok slanice in tok sedimentov zaradi poglobljanja dna. Vendar pa te različice niso bile rigorozno validirane in niso vsebovale pred- in postprocesiranja rezultatov ter smernic za optimizacijo načrtovanja izpustov. To orodje za napovedovanje širjenja slanice za posebne geometrijske primere ni bilo fleksibilno, kljub možnosti simulacij začetnega negativnega vzgonskega toka curka kot gostote končnega oblaka slanice pri dnu (Bleninger in Jirka, 2008). Sodobne verzije modela Cormix (CORMIX 10 in CORMIX 11, www.cormix.info) so prilagojene modeliranju širjenja slanice v bližnjem območju in omogočajo enostavno pripravo podatkov, izračune in grafične prikaze rezultatov.

Načrtovanje razsoljevalne naprave mora potekati skladno z zakonodajo. Slovensko morje je razdeljeno na šest vodnih teles, katerih kemijsko in ekološko stanje se določa na osnovi zahtev evropske Vodne direktive oziroma Uredbe o stanju površinskih voda in Pravilnika o monitoringu stanja površinskih voda. Na petih obalnih vodnih telesih se določa ekološko in kemijsko stanje, na vodnem telesu

teritorialnega morja pa le kemijsko stanje, na območju celotnega morja pa se po zahtevah Okvirne direktive o morski strategiji (Direktiva 2008/56/ES) določa okoljsko stanje morja (Poje in Sever, 2015).

Predvidevamo, da je z orodjem CORMIX in omenjenimi podatki mogoče poiskati optimalno rešitev načrtovanega izpusta glede na okoljske predpise. V magistrskem delu bomo zato zbrali ustrezne podatke o osnovnih okoljskih parametrih (temperatura, slanost, tokovi) v obalnih vodah, kjer bi lahko bil izpust razsoljevalne naprave. Na podlagi potrebe po vodi na obalnem območju bomo izbrali podatke o pričakovanih režimih delovanja potencialne razsoljevalne naprave. S programskim orodjem CORMIX bomo prikazali osnovni nabor scenarijev širjenja slanice v morju. S spreminjanjem vrednosti geometrijskih in dinamičnih parametrov ter parametrov vtoka bomo prikazali različne scenarije širjenja slanice v bližnjem območju. Naš cilj je tudi poiskati konfiguracijo izpusta, ki podaja najmanjšo možno površino bližnjega območja znotraj katerega ni dosežena ustrezna stopnja razredčenja.

2 METODOLOGIJA

2.1 Razsoljevalne tehnologije

Razsoljevanje ali desalinizacija je proces izločanja soli in drugih mineralov iz slane oz. morske vode. Izločanje soli iz vode ne poteka po naravni poti, ampak je vedno potreben določen tehnološki proces. Prvi procesi razsoljevanja so se posluževali izhlapevanja s pomočjo sončne energije.

Razsoljevalne tehnologije lahko ločimo glede na to, kaj izločamo, glede na tip separacijskega postopka in glede na vir energije. V osnovi poteka delitev na dve glavni skupini, na procese, kjer izločamo čisto vodo in procese, kjer izločamo sol. Čeprav je v morski vodi manj kot 4 % soli in bi se morda zdelo enostavneje odstraniti le sol, dajo boljše rezultate sistemi, ki izločijo čisto vodo iz morske (Cipollina, 2009).

Danes se uporabljajo termični sistemi, ki delujejo po istem principu (destilacije), vendar na veliko bolj kompleksni ravni. Pri termičnih sistemih se dovedena morska voda ogreva, vodna para se zbira v obliki kondenzata, ostane pa koncentrat ali slanica. Termični postopki so energijsko zahtevni zaradi visoke specifične toplote in izparilne energije vode, zato so taki sistemi pogosto v sklopu drugih obratov, ki proizvajajo velike količine toplote ali druge oblike energije. Za zmanjšanje potrebne energije večina termičnih sistemov deluje po stopnjah, energija se prenaša iz ene komore v drugo tako, da kondenzat preko izmenjevalcev toplote predgreva vstopno slano vodo (Gregorič, 2016). Najbolj znani komercialno uporabljeni termični tehnologiji sta večfazna ravnotežna destilacija (MSF) in večstopenjska destilacija (MED) (Cipollina, 2009).

Drug način pridobivanja sladke vode iz slane je razsoljevanje z zamrzovanjem tekočine. Kristali ledu so sestavljeni iz čiste vode, potem ko se temperatura slane vode zniža na točko zmrzišča. Po naravi vsi kristali ob nastanku izločajo nečistoče. Zamrzovalna metoda izkorišča fazno spremembo vode iz tekočega stanja v trdno snov. Metoda pa zahteva ločevanje ledenih kristalov od slanice, ki je prilepljena na površino kristalov in nadaljnje taljenje ledu za pridobivanje pitne vode. V primerjavi z drugimi razsoljevalnimi procesi, zlasti termičnimi, postopek zmrzovanja ponuja številne prednosti. Poraba energije je manjša, postopek ne potrebuje skoraj nobene predhodne obdelave in povzroča minimalno korozijo. Očitno pa je, da metoda ni najbolj praktična za uporabo. Enostavno je prikazati princip delovanja tega procesa, vendar če se uporablja v velikem obsegu, kot razsoljevalni sistem, se pojavijo težave. Poskusi komercialne uporabe metode razsoljevanja z zamrzovanjem doslej niso bili uspešni. Glavni težavi predstavljata ločevanje ledenih kristalov iz koncentrirane slanice in neustreznost običajnih hladilnih kompresorjev. Razvoj hidravličnega hladilnega kompresorja predstavlja morebitno rešitev za težave pri tem postopku (Lu in Xu, 2010).

V drugi polovici dvajsetega stoletja je razvoj polimernih materialov omogočil razvoj selektivnih (polprepustnih) membran in s tem razvoj membranskih tehnologij za razsoljevanje (Cipollina, 2009 cit. po Gregorič, 2016). Membrana je polprepustna meja med dvema raztopinama, katera dovoljuje prehod molekul pod vplivom sile (npr. razlike v tlaku, koncentracijskem gradientu ali električnem potencialu), ki poganja filtracijski proces, odvisno od membranskega procesa, ki ga uporabljamo. Membrana deluje kot pregrada, ki omejuje gibanje določenih komponent in tako ločuje raztopine na dve frakciji:

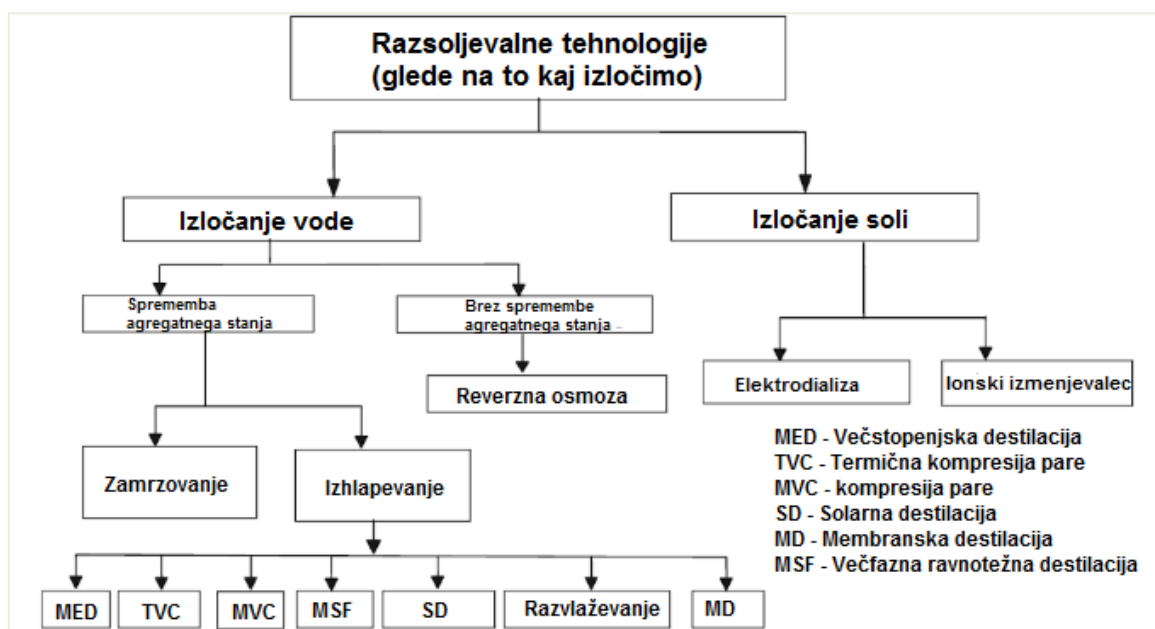
- permeat - očiščena voda, prehaja skozi membrane,
- retentat oz. koncentrat - odpadna voda, ki jo membrana zadrži.

Razsoljevanje s pomočjo membranske tehnologije se uporablja tako za procese, ki izločajo vodo kot tudi za procese, ki izločajo sol. Uporabljajo se različne vrste membran, ki so običajno razvrščene na

osnovi uporabljene gonilne sile. Membranske procese, ki se uporabljajo samo za razsoljevanje morske vode lahko ločimo na:

- tlačno vodene procese, kot so reverzna osmoza, mikrofiltracija, ultrafiltracija in nanofiltracija,
- električne procese, kot so elektrodializa.

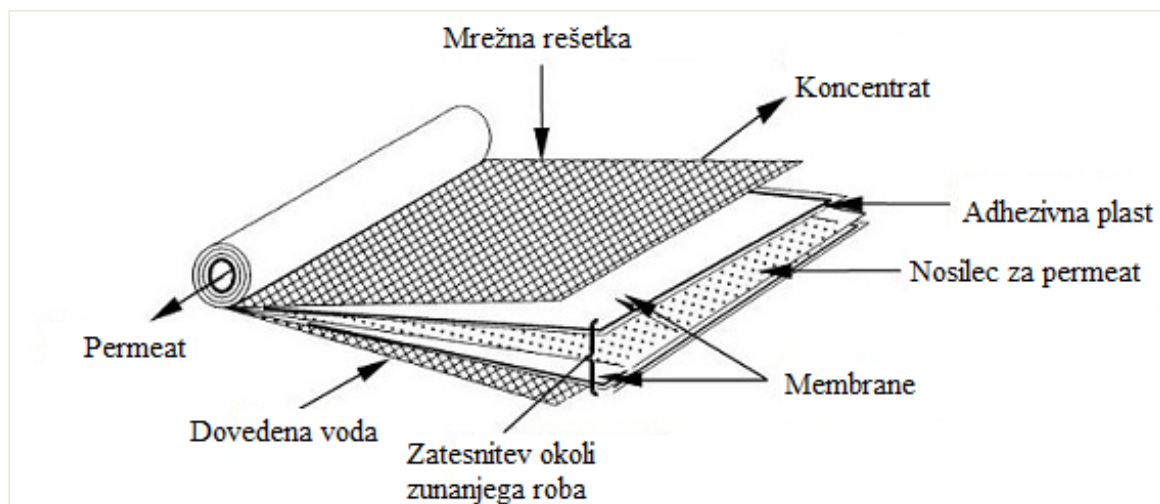
Med membranskimi procesi je najbolj pogosto uporabljena reverzna osmoza (Gogala, 2014). V primeru reverzne osmoze gre za postopek izločanja vode brez spremembe agregatnega stanja, medtem ko se pri električnih procesih izločajo soli. Med postopke, ki izločajo soli se uvrščajo tudi ionski izmenjevalci, po obliki navadno zrnate snovi, ki iz vode izbirno vežejo določene ione ter vanjo hkrati sproščajo enako količino drugih ionov. Po vrsti izmenjanega iona jih delimo na kationske in anionske, po izvoru na anorganske in organske, po aktivni skupini pa na šibko kisle, močno kisle, šibko bazične in močno bazične (https://sl.wikipedia.org/wiki/Ionski_izmenjevalec). Shema delitve razsoljevalnih tehnologij glede na način ločevanja je prikazana na sliki 1.



Slika 1: Razdelitev razsoljevalnih tehnologij glede na način ločevanja (povzeto po Cipollina, 2009)

2.2 Reverzna osmoza

Postopek reverzne osmoze (RO) uporablja za ločevanje vode od raztopljenih snovi polprepustno membrano, kot gonilo pa hidravlični tlak. Večina membran ima konfiguracijo spiralno navitega modula, ki ga tvori več ploščatih membran oblikovanih v ovojnico, ovito okrog glavne centralne osi (spirale v prečnem prerezu). Primer spiralno navitega membranskega modula je prikazan na sliki 2. Tlačno cev običajno sestavlja do osem membranskih elementov. Ko dovedena voda teče skozi vsak nadaljnji element, se del vode odstrani kot permeat in koncentracija soli narašča vzdolž tlačne cevi v preostali vodi. Tlačne cevi so vzporedno združene v t.i. faze. Število membranskih elementov na tlačno cev in število faz določata stopnjo učinkovitosti sistema. Običajno je izkoristek pri enojni stopnji RO 50 %.



Slika 2: Primer spiralno navitega membranskega modula (povzeto po <https://web.utk.edu/~qhe2/MembraneModule/TMU-Membranes.html?menu>)

Za ohranjanje učinkovitosti in življenjske dobe sistema pa je nujna predpriprava dovedene vode. Slednja preprečuje zamašitev membran tako, da zmanjšuje količino obrasti, vodnega kamna, odstranjuje raztopljene organske snovi in težko topne anorganske snovi ter oksidiran in halogeniran klor, ki se dodaja med predpripravo za zmanjšanje bioloških vplivov. Vrsta in stopnja predpriprave sta odvisni od kakovosti dovedene vode in procesa razsoljevanja. V primeru površinskega zajema vode je zaradi spremenljive kakovosti vode, ki je posledica sezonskih vremenskih razmer in cvetenja alg, predpriprava bolj obsežna in zahtevna kot v primeru podvodnega zajema. Konvencionalna predpriprava za postopek RO s površinskim zajemom vključuje klor - šoke za čiščenje bioloških oblog, koagulacijo, flokulacijo in filtracijo za odstranitev trdnih suspendiranih snovi in koloidov ter dekloriranje. Včasih sta kot začetni korak v postopku predpriprave vključeni še sedimentacija ali flotacija. Druge alternativne možnosti predpriprave vode so mikrofiltracija in ultrafiltracija ter sistem naravne obdelave (biofilter) v primeru podvodnega zajema, kjer se voda predfiltrira skozi naravne sedimente (Lattemann, 2010).

2.3 Zajem morske vode

Naprave za razsoljevanje morske vode lahko vodo zajemajo bodisi s površinskim zajemom ali s podvodnim zajemom preko cevi, speljanih pod morskim dnom. Površinski zajem ponavadi vključuje zajem vode v bližini naprave in se najpogosteje uporablja za razsoljevalne naprave, ki se nahajajo neposredno ob obali. Podvodni zajem se pogosteje uporablja pri večjih razsoljevalnih napravah, ki uporabljajo postopek RO in se običajno nahaja daleč od obale, na večjih globinah (Lattemann, 2010).

Površinski ali odprti odvzem zajema vodo neposredno iz morja preko cevi, kar omogoča teoretično neomejen pretok surove vode. Velik pretok in velika hitrost črpanja vode predstavljata nevarnost zajema morskega življa. Poleg tega manjši organizmi, kot so ličinke in mladice preidejo skozi večja sita, namenjena ščitenju zajema vode in s tem bistveno poslabšajo kakovost dovedene vode (Cooley in sod., 2006, cit. po Bleninger in Jirka, 2010). Omilitveni ukrepi za zmanjšanje zajema morskih organizmov vključujejo podvodne zajeme daleč od obale in na večjih globinah vode, manjše hitrosti na zajemu ter uporabo finih sit. Projektna hitrost na zajemu naj ne bi presegla 0,1 m/s, kar je večinoma manj od hitrosti toka v okolici odvzema (California Coastal Commission, 2004, cit. po Bleninger in Jirka, 2010). Priporoča se takšno načrtovanje zajema, da so prevladujoče hitrosti v horizontalni ravnini, saj ribe lažje plavajo proti vodoravnim tokovom. To lahko dosežemo s postavitvijo kap oz. pokrovov nad zajemom (Bleninger in Jirka, 2010). Primer takega pokrova je prikazan na sliki 3.

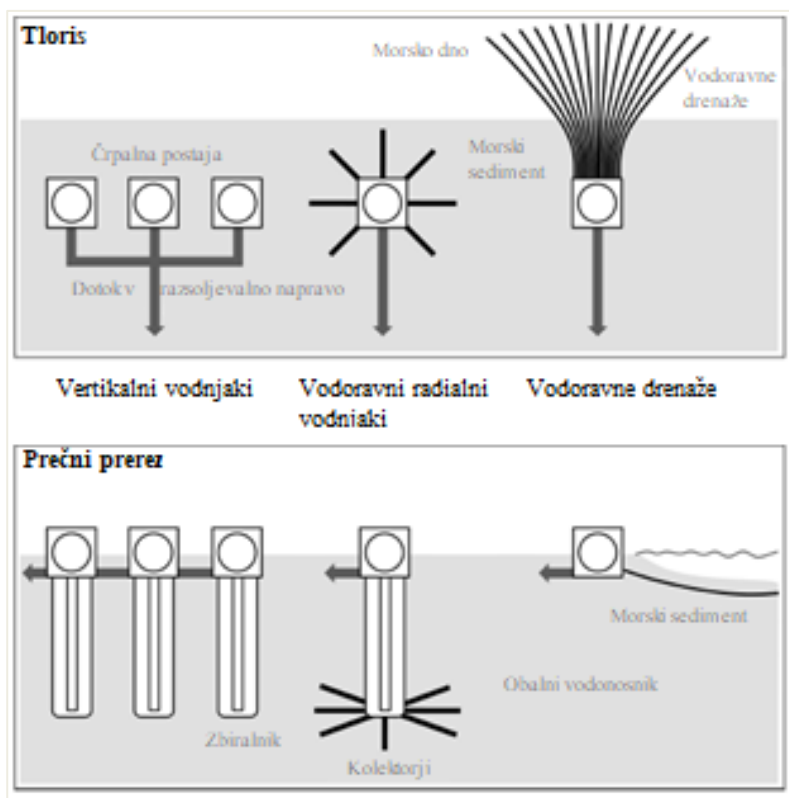


Slika 3: Pokrov za odprti zajem (Bleninger in Jirka, 2010)

V primeru podvodnih zajemov, ki so locirani na večjih razdaljah od obale in večjih globinah vode, kjer je morskih organizmov manj, je pogosto zajeta voda boljše kakovosti in z manjšo vsebnostjo suspendiranih trdnih snovi ter mikroorganizmov, kot v primeru odprtih zajemov. Podvodni zajem je najpogostejši tip zajema za razsoljevalne naprave, ki delujejo po postopku reverzne osmoze. Navadno so postavljeni na globini vode 10 do 15 m in 2 do 5 m nad morskim dnom. Razdalja od obale je odvisna od topografije morskega dna, običajno pa znaša nekaj sto metrov (Wilf in sod., 2007, cit. po Lattemann, 2010). Cevovod za prenos oziroma zajem morske vode lahko poteka po morskem dnu ali pod njim, po odprtih jarkih ali predorih. Zajemi vode, ki se nahajajo neposredno ob morski obali, so značilni predvsem za razsoljevalne naprave, ki uporabljajo destilacijske postopke in so ponavadi zaščiteni z valobrani, ki zmanjšajo vpliv valovanja in povečajo usedanje suspendiranih delcev (Lattemann, 2010).

Za podvodne zajeme razsoljevalnih naprav, ki delujejo po postopku RO, so bili testirani in uspešno uporabljeni različni vertikalni in vodoravni načini zajemov, ki so prikazani na sliki 4. Mednje sodijo:

- vertikalni vodnjaki globoki 30 do 50 m z vertikalnimi zbiralniki na obalnih prepustnih tleh,
- vodoravni radialni vodnjaki z vgrajenim navpičnim zbiralnikom in vodoravnimi radialnimi kolektorji, na prepustnih tleh prednjega obalnega pasu,
- vodoravne drenaže, izvrtane v vodoravni smeri od osrednje točke na kopnem do sedimentov na odobalnem pasu,
- infiltracijski sistemi, ki jih sestavljajo perforirane cevi razporejene v radialni smeri, kjer naravni sedimenti niso dovolj prepustni, na prednjem obalnem pasu,
- drenaže morskega dna, podobne infiltracijskim sistemom, nameščene v odobalnem pasu (Lattemann, 2010).



Slika 4: Tloris (zgoraj) in prečni prerez (spodaj) podvodnega zajema: vertikalni vodnjaki, vodoravni radialni vodnjak, vodoravne drenaže (povzeto po Lattemann, 2010)

Podvodni zajemi so primerni za peščena tla, ki omogočajo naravno filtracijo vode in s tem prispevajo k boljši kakovosti dovedene vode. Slaba stran takih zajemov je, da so odvisni od geoloških pogojev in da lahko zagotavljajo le omejene količine vode, ki na splošno ne zadoščajo za velike razsoljevalne naprave. Večje količine dovedene vode lahko zagotovimo z uporabo vodoravnih drenaž (Horizontal Directional Drilling (HDD) lines), kar zahteva namestitev sistema cevi pod morskim dnom. Voda, ki se prefiltrira skozi zemeljske plasti, se tako zbira v zadostnih količinah, neodvisno od morskih tokov, valovanja in plimovanja. Dodatna prednost takšnega zajema je zmanjšan vpliv na okolje, saj se izognemo dodatnim gradbenim posegom tako na kopnem kot na morskem dnu (Bleninger in Jirka, 2010). Na sliki 5 je prikazan primer zajema z infiltracijo skozi morsko dno (zgoraj) in primer sistema vodoravnih drenaž (spodaj).



Slika 5: Primer zajema z infiltracijo skozi morsko dno (zgoraj) in z vodoravnimi drenažami (spodaj) (povzeto po Bleninger in Jirka, 2010)

2.4 Izpusti iz razsoljevalnih naprav

2.4.1 Okoljski vplivi

Izpusti iz razsoljevalnih naprav vsebujejo predvsem sestavine naravne morske vode v koncentrirani obliki. Med temi prevladuje sol, zato taki odpadni vodi pravimo slanica. Odvisno od postopka razsoljevanja se lahko pojavijo okoljski problemi zaradi visoke koncentracije anorganskih soli ali povišane temperature odpadne vode, torej povečana slanost in/ali temperatura vode v okolici izpustov, to pa posledično negativno vpliva na lokalni ekosistem. Poleg tega predpriprava zajete vode vključuje uporabo raznih kemičnih dodatkov, med katerimi se nekateri odvajajo skupaj z odpadno vodo. V slanici so lahko prisotne tudi povišane koncentracije kovin, ki so posledica izpiranja iz korozivnih delov razsoljevalnih naprav (Lattemann, 2010).

2.4.1.1 Slanost, temperatura in gostota vode

Količina soli v odpadni slanici je odvisna od izkoristka razsoljevalne naprave, ta pa je odvisen od slanosti surove vode in vrste procesa razsoljevanja. Slanica iz razsoljevalne naprave z RO ima običajno slanost 65 – 85 psu. Čeprav ima slanica iz zadnje faze večstopenjske ravnotežne destilacije (MSF) slanost okoli 70 psu, se ta uspešno razredči s trojno količino hladilne vode. Razredčena slanica z MSF tako vsebuje le okoli 15 % več soli od vode, v katero je izpuščena, slanica iz postopka RO pa vsebuje dvakrat več soli od okoliške vode. Izpusti slanice iz termičnih postopkov so za 5 – 15°C toplejši od morske vode, slanica iz postopka RO pa je približno enake temperature. Razlika v gostoti med slanico in morsko vodo vpliva na mešanje in širjenje slanice v morju. Ker imata slanost in temperatura nasprotni učinek na gostoto, se lahko ustvari bodisi pozitiven ali negativen vzgon slanice. Slanica iz termičnih postopkov ima zaradi višje temperature manjšo relativno gostoto in se širi po površju, slanica iz RO pa zaradi večje slanosti in zanemarljive spremembe v temperaturi tone in se širi po morskem dnu. V prvem primeru so ogroženi morski organizmi v celotnem vodnem stolpcu, saj se izpusti običajno nahajajo ob

obali, kjer je voda plitka in ima večje hitrosti toka, drugi primer pa predstavlja grožnjo predvsem za bentoške organizme (Lattemann, 2010).

2.4.1.2 *Ostanki biocidov*

2.4.1.2.1 *Klor*

V večini naprav za razsoljevanje se dodaja klor, ki zmanjšuje težave v delovanju sistemov zaradi bioloških vplivov. Reakcije organskih sestavin morske vode in abiotska razgradnja (razkroj) vplivata na znižanje začetne koncentracije klora znotraj sistema. Predvideva se, da znaša količina klora na izpustih destilacijskih postopkov od 0,1 do 0,5 mg/l, pri RO pa so koncentracije klora zelo nizke ali celo nezaznavne, ker se voda po kratkem reakcijskem času običajno deklorira z natrijevim bisulfitom preden vstopi v enote RO, s čimer se preprečijo poškodbe membrane zaradi oksidacije. Po izpustu lahko pričakujemo nadaljnji hiter padec koncentracije klora, ki v recipientu znaša do 90 % (Lattemann, 2010).

2.4.1.2.2 *Stranski produkti kloriranja*

Klor v odpadni vodi ustvari obstojne toksične halogene organske spojine, npr. trihalometane (THM). To so spojine, ki nastanejo po reakciji klora z organskimi molekulami iz alg, substrata in podobno. Če klor reagira z ioni bromida, se sprosti elementarni brom, ki nato reagira z organskimi molekulami. Nastanejo bromirani ogljikovodiki, za katere je znano, da so kancerogeni in škodljivi za vodno okolje. Te molekule so tudi prevladujoča oblika halometanov v slanici. Bromoform (CHBr_3) predstavlja 90 %, sledi pa mu dibromov klorometan (CHBr_2Cl). Večinoma je koncentracija teh spojin problematična le v bližini izliva, kilometer proč od izliva pa je tudi pri večjih napravah koncentracija manjša od 1ppb (Lattemann, 2010, cit. po Gregorič, 2016).

Z okoljskega vidika obsega kloriranje morske vode dve različni skupini kemikalij; oksidante in stranske produkte kloriranja. Obe skupini vplivata na ekotoksičnost, bioakumulacijo in biorazgradnjo. Toksičnost prostih oksidantov je visoka tudi pri nizkih koncentracijah, vendar se hitro razgrajujejo in se ne kopičijo v organizmih. Zato je morebitna strupenost za organizme omejena na območje mešanja. Predvideva pa se, da so lahko nekateri stranski proizvodi kloriranja bolj obstojni in se lahko kopičijo v organizmih ter da se lahko pokažeta kronična mutagena in kancerogena toksičnost, zelo verjetno tudi izven območja mešanja (Lattemann, 2010).

2.4.1.3 *Koagulanti*

Razsoljevalne naprave s postopkom RO se običajno pri predpripravi vode poslužujejo kombinacije različnih kemikalij za koagulacijsko flokulacijo in filtracijo vode, s čimer se odstranijo koloidni delci in suspendirane trdne snovi. Primarni koagulanti so običajno kovinske soli, kot so železov klorid in železov sulfat. Njihovi kationi nevtralizirajo negativne površinske napetosti suspendiranih delcev in formirani kosmi hidroksida adsorbirajo manjše koloidne delce, tako da se delci združijo v večje, ki jih je lažje filtrirati. Kondicioniranje z žvepleno kislino na pH 6 - 7 in doziranje koagulacijskih pomožnih snovi, ki imajo podobne lastnosti obeh polimerov ter elektroliti lahko izboljšajo postopek koagulacije. Predpriprava z ultrafiltracijo pogosto vključuje koagulacijo zgolj s kovinskimi solmi in v manjših odmerkih. Odmerki so običajno povezani s količino suspendiranega materiala v zajeti vodi (Lattemann, 2010).

Pri izpustu vode iz povratnega izpiranja filtrov membranskih sistemov v morje se lahko znatno poveča količina suspendiranih snovi na mestu izpusta. To je zgolj estetska težava, saj železove soli območje mešanja obarvajo v rdeče - rjave barve, kemikalije koagulantov pa so na splošno nestrupene za morske organizme (razen če se uporablja aluminijev sulfat namesto železovih soli). Železo je naravni element morske vode in hranilo, potrebno za rast alg. Možna posledica pa je evtrofikacija obalnih voda. Izpust velikih količin blata povzroči tudi fizične vplive, ki lahko negativno vplivajo na živelj v morju. Povečana motnost in manjša penetracija svetlobe lahko vplivata na produktivnost bentoških makroalg, morskih alg in koral, če so prisotne na mestu izpusta. Delci, ki se usedajo, pa lahko prekrijejo bentoške rastline in živali (Lattemann, 2010).

2.4.1.4 *Antiskalanti*

Kadar so meje topnosti nekaterih soli v koncentratu presežene, se tvorijo obloge. Te so odvisne od ionske sestave izvorne vode, stopnje učinkovitosti in temperature procesa razsoljevanja in kinetike precipitacije slabo topnih soli. V sistemih z RO je kalcijev karbonat prevladujoča vrsta oblog, medtem ko mejne vrednosti topnosti za sulfatne kristale in silikate na splošno niso presežene zaradi visoke ionske moči morske vode. Kalcijev karbonat je tudi glavna vrsta kristalov, ki se tvorijo pri destilacijskih postopkih razsoljevanja, kjer se poleg tega srečujemo še s sulfatom in magnezijevim hidroksidom zaradi povišane temperature. Obloge je mogoče nadzorovati z dodatkom bodisi žveplove bodisi klorovodikove kisline (proti karbonatnim oblogam), doziranjem posebnih preprečevalcev oblog (antiskalanti) ali njihove kombinacije. Kisline reagirajo stehiometrično s kalcijevim karbonatom in jih je zato treba dodati v sorazmerno visokih koncentracijah, od 20-50 mg/l surove vode. To vpliva na padec pH vrednosti s približno 7,8-8,1 na približno 6,8-7, odvisno od alkalnosti in slanosti. Zaradi dobre puferske zmogljivosti morske vode se kislost hitro nevtralizira z mešanjem z okoliško morsko vodo. Antiskalanti zavirajo proces nukleacije in zmanjšujejo rast kristalov, v nizkih, ne-stehiometričnih odmerkih 1-2 mg / l. Glavne generične skupine so polifosfati, fosfonati (organofosforne spojine s stabilnimi ogljikovimi fosfornimi vezmi) in organski polimeri z več karboksilnimi skupinami. Polifosfatni antiskalanti se zlahka hidrolizirajo v ortofosfat, ki je bistveno hranilo za primarne producente. Uporaba polifosfatov lahko povzroči presežek hranil in pojav evtrofikacije (Lattemann, 2010).

2.4.1.5 *Kovine*

Povečane koncentracije kovin v izpustih slаницe so posledica koncentriranega učinka razsoljevalnih procesov, ki zvišuje koncentracijo naravnih kovinskih ionov v koncentratu, in procesov korozije znotraj razsoljevalne naprave. Pri RO onesnaženje s kovinami ne presega kritičnih vrednosti zaradi uporabe nekovinskih materialov ter materialov, ki so odporni proti koroziji. Slanica lahko na primer vsebuje sledi železa, niklja, kroma in molibdena, odvisno od vrste uporabljenega jekla. Pri destilacijskih procesih se uporabljajo pretežno bakrene in nikljeve zlitine, ki so dobri toplotni prevodniki. Slanica iz takih procesov vsebuje baker in nikelj. Prisotnost bakra v izpustih ne predstavlja nujno negativnega vpliva na okolje. Količine naravno prisotnega bakra se gibljejo od 0,1 µg/l v oceanih do 100 µg/l v rečnih ustjih, zaradi česar je težko določiti antropogeni vpliv na koncentracijo. Tako kot ostale kovine se tudi baker useda in nabira v sedimentih, kar predstavlja težavo pri točkovnih izpustih slаницe. Bentoški organizmi asimilirajo kovine, ki se nalagajo naorskem dnu, kar lahko vodi v bioakumulacijo in biomagnifikacijo (Lattemann, 2010).

2.4.1.6 Kemikalije za čiščenje membran

Pri procesu RO se na membranah pogosto ustvarijo biofilmi in razne obloge, pojavlja se tudi akumulacija suspendiranih delcev. Začetne biološke vplive in zgodnje nastajanje oblog lahko zaznamo s spremljanjem prehoda soli, permeatnega toka in membranskega tlaka. Potrebno je občasno čiščenje, s čimer se preprečijo poškodbe membran. Pogostost čiščenja se določi za vsak primer posebej, odvisno od pogojev okolja in načina predpriprave vode. Kemično čiščenje se pogosto izvaja v dveh fazah, najprej s kislino, nato z alkalno raztopino. Raztopina kisline, s pH 2-3 je učinkovita proti kovinskim oksidom in oblogam, alkalne raztopine s pH 11-12 pa odstranjujejo usedline, organske komponente in biofilme. Raztopine lahko dodatno vsebujejo detergente, kot so natrijev dodecilsulfat, oksidante, kot je natrijev perborat ter organska ali anorganska kelatna sredstva, kot so EDTA ali tripolifosfati. Večina teh kemikalij se skupaj s slanico odvaja v morje (Lattemann, 2010).

2.4.1.7 Kumulativni vplivi in potrebne raziskave

Analiza kumulativnega vpliva nove/načrtovane razsoljevalne naprave temelji na informacijah, ki izhajajo iz analiz neposrednih in posrednih predvidenih vplivov. Potencialne kumulativne vplive je potrebno upoštevati čim prej, po možnosti med fazo določanja obsega katerega koli projekta obratov za razsoljevanje (UNEP/MAP, 2015).

Po navodilih UNEP/MAP (UNEP/MAP, 2015, poglavje 9) se kumulativni vplivi vsake načrtovane razsoljevalne naprave ocenijo z naslednjimi devetimi koraki:

1. Opredelitev naravnih virov, ki jih je potrebno upoštevati v analizi kumulativnega vpliva: priobalni in obalni viri, kot so kakovost morske vode, koralni grebeni, ogrožene vrste, morske trave (*Posidonia oceanica*), arheološka najdišča itd.
2. Določitev območja preučevanja (geografske meje) za posamezen naravni vir.
3. Opis ničelnega stanja posameznega naravnega vira.
4. Ugotavljanje neposrednih in posrednih vplivov predlagane načrtovane razsoljevalne naprave, ki bi lahko prispevali k kumulativnemu vplivu.
5. Identifikacija drugih posegov, ki vplivajo na posamezen naravni vir.
6. Ocena možnih kumulativnih vplivov
7. Zbiranje zaključkov
8. Poročanje o rezultatih
9. Ocena omilitvenih ukrepov in priporočila ustreznih rešitev

Postopek ugotavljanja kumulativnih vplivov velja tako za območja odvzema morske vode, kot za območja izpustov slanice (Malačič in sod., 2016).

Za določitev lokacije odvzema in ugotavljanje kakovosti vode na mestih odvzema je potrebno (Malačič in sod., 2016):

- določiti območja odvzema glede na obstoječe izpuste, kopališča in drugo rabo vode,
- določiti mikrolokacijo odvzema z uporabo numeričnih modelov,
- določiti primerno obliko in dimenzije vtoka morske vode,
- uvesti monitoring kakovosti vode na lokacijah odvzema.

Za določitev možnih posledic izpusta slanice je potrebno (povzeto po Malačič in sod., 2016):

- ugotoviti primerno lokacijo in tehnologijo za izpust slanice,

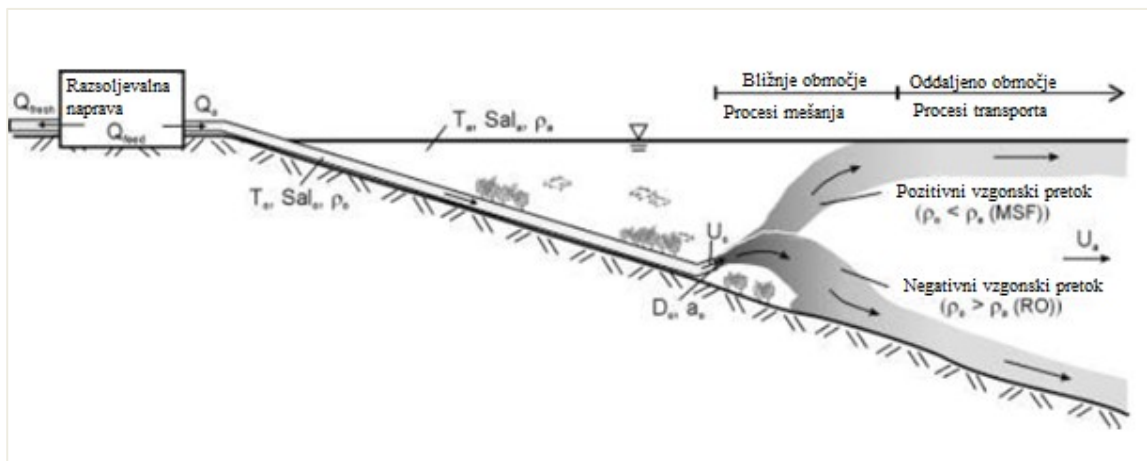
- določiti območja habitatov, na katerih ni dovoljen vpliv izpusta,
- določiti cirkulacijo okoli izpusta slanice in vplivno območje s povečano slanostjo vode
- uvesti monitoring koncentracij kemičnih sredstev ki se, odvisno od tehnologije, uporabljajo za vzdrževanje in obratovanje, pH in vsebnosti hranil,
- uvesti monitoring makroalg in fitoplanktona.

2.4.2 Vrste izpustov slanice

2.4.2.1 *Izpust slanice v površinske vode*

Odpadna slanica se največkrat izpušča v morje. Izpuste slanice v morje lahko delimo na tri načine: glede na lokacijo postavitve (površinski izpusti ob obali, podvodni izpusti na odprtem morju), lastnosti mešanja (ena šoba, več šob) in glede na vzgonske lastnosti curka izpusta (pozitivni, negativni) (Bleninger in Jirka, 2010). Najbolj razširjen način izpustov slanice je površinski izpust v morje. Gre za nizkoenergijsko in poceni tehnologijo, ob predpostavki, da slanica ne potrebuje nadaljnje obdelave in v primeru uporabe smotrne dolžine izpustne cevi. Tak tip izpusta ima negativen vpliv na vodne organizme, vendar ga lahko zmanjšamo z ustreznimi omilitvenimi ukrepi, kot so izbira primerne lokacije, načrtovanje izpustov s šobami ali predhodno redčenje slanice s hladilno ali komunalno odpadno vodo. Način, kako je zasnovan izpust, vpliva na proces mešanja v bližnjem območju, ki se razteza do nekaj sto metrov od točke izpusta. V bližnjem območju se pojavi diskontinuiteta med hitrostmi odpadne slanice in hitrostmi okoliških tokov, ki izhaja iz začetne gibalne količine in vzgonskih lastnosti curka iztoka. Ta povzroča turbulentno mešanje, ki zmanjšuje razlike v slanosti, temperaturi in/ali koncentracijah kemikalij med oblakom slanice in okoliško vodo. Morski tokovi lahko spremenijo trajektorijo curka, kar povzroči večje razredčenje, stratifikacija morja pa ima negativen učinek na navpično širjenje. Mejne interakcije se lahko pojavijo na primer na vodni površini, morskem dnu ali pri piknoklinah. Te v splošnem definirajo prehod procesa mešanja iz bližnjega v oddaljeno območje. Oddaljeno območje se lahko razteza na razdalji nekaj kilometrov, tam pa prevladuje proces difuzije, ki povzroča nadaljnje počasno mešanje (Lattemann, 2010).

Različne razlike gostote slanice in morja v okolici izpusta, ki se odražajo v obliki vzgonskega toka, povzročajo različne značilnosti curka. Iztok slanice z veliko gostoto iz procesa RO tone proti dnu in ustvari negativni vzgonski tok. Slanica iz termičnih postopkov nasprotno zaradi nižje relativne gostote ustvari pozitiven vzgonski tok. Na sliki 6 je prikazano tipično obnašanje curka s pozitivnim in negativnim vzgonom v odvodniku, na primeru podvodnega enojnega izpusta (Bleninger in Jirka, 2010).

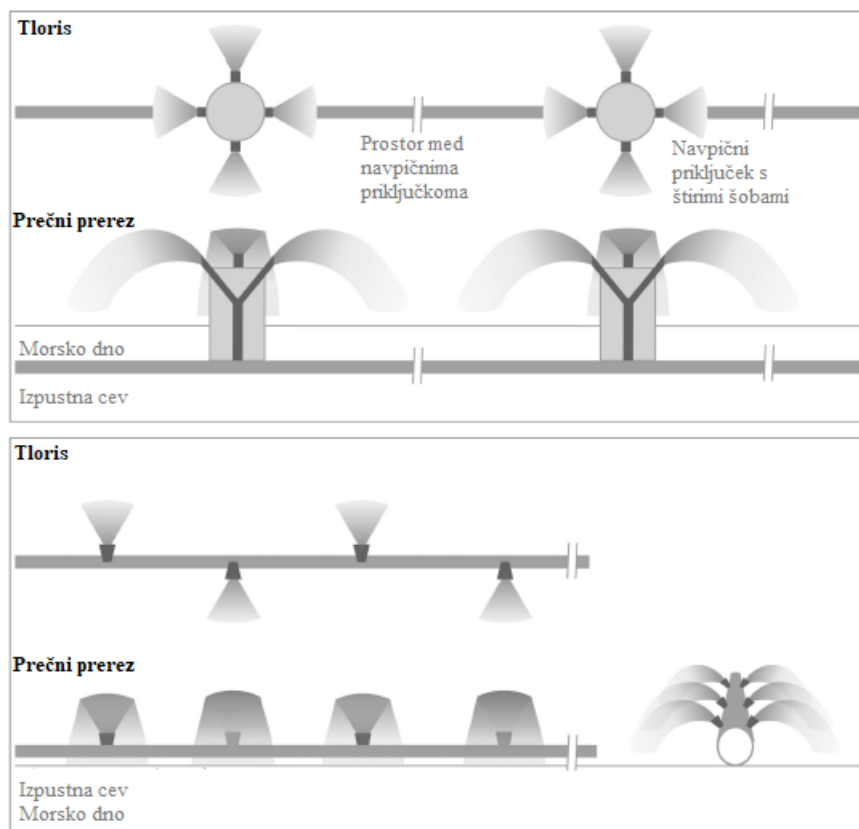


Slika 6: Obnašanje slanice na izpustu (podvodni, enojni izpust) (povzeto po Bleninger in Jirka, 2010)

2.4.2.1.1 Difuzorji

Izpusti slanice v morje lahko zaradi omenjenih lastnosti mešanja z okoliško vodo povzročijo velik okoljski vpliv na bližnjem območju. Uporaba difuzorjev s šobami pa učinkovito poveča mešanje slanice na mestu izpusta s povečanjem volumna morske vode v stiku s slanico in z ustvarjanjem turbulentnih pogojev mešanja. Na sposobnost redčenja difuzorjev vplivajo številni dejavniki, med katere sodijo hitrost in prostornina izpusta, globina šob pod morsko gladino, vertikalni nagib šob, ter število šob in razdalja med njimi. Slanica običajno zapusti šobo difuzorja z visoko hitrostjo in je usmerjena navzgor proti morski gladini.

Obstajata dve kategoriji izpustnih struktur: difuzorji rozete (rosette-style), ki so sestavljeni iz več izpustnih mest, ki se dvigajo nad morskim dnem in imajo majhno število šob, ki so pritrjene na posamičen izpust, in difuzorji na cevovodu, ki so sestavljeni iz šob, razporejenih vzdolž cevi. Oba tipa difuzorjev sta prikazana na sliki 7.



Slika 7: Prečni prerez in tloris rozete (zgoraj) in difuzorja na cevovodu (spodaj) (povzeto po Lattemann, 2010)

2.4.2.1.2 Podzemni izpusti

Izpust slanice v morje lahko poteka preko podzemnega izpusta. Na obalnih območjih se uporabljajo vodnjaki ali perkolacijski predori v morskem dnu, ki omogočajo mešanje v podtalnici, nato pa se oblak slanice počasi razprši v območje, kjer se valovi rušijo. Podzemni izpusti veljajo za učinkovit način zmanjševanja okoljskih vplivov izpustov odpadne slanice, vsaj za lokacije, kjer so hidrogeološke in oceanske (rušenje valov) razmere ustrezne. V poštev pridejo predvsem za manjše razsoljevalne naprave s postopkom RO (Lattemann, 2010).

2.4.2.2 Injiciranje v tla

Ena od možnih tehnologij je injiciranje slanice globoko v tla, običajno razmeroma daleč od obale, in izolirano od vodonosnikov s pitno vodo. Običajno se uporablja za večje pretoke zaradi visokih stroškov investicije (Lattemann, 2010).

2.4.2.3 Mešanje slanice s komunalno odpadno vodo

Izpust odpadne slanice v morje lahko predhodno mešamo oziroma razredčimo s komunalno odpadno vodo. Razmerje redčenja 1:1 je dovolj, da ustrezno zniža slanost slanice, saj ima slanica iz postopka RO približno dvakrat večjo slanost od dovedene surove vode. Pojavljajo pa se vprašanja vezana na okoljsko sprejemljivost takih izpustov. Mešanica slanice in komunalne odpadne vode je lahko toksična, zaradi ionskega neravnovesja. V Kaliforniji so bile opravljene preiskave, ki so pokazale negativni vpliv takih izpustov na določene morske organizme, kot so morski ježki in morske zvezde (Lattemann, 2010).

2.4.2.4 Mešanje slanice s hladilno vodo

Razsoljevalne naprave z destilacijskimi postopki (MSF, MED), in nekatere večje razsoljevalne naprave z RO se nahajajo v sklopu drugih obratov, ki proizvajajo velike količine toplote ali druge oblike energije. Glavne okoljske prednosti takšne razporeditve obratov z RO so sledeče:

- Uporaba že obstoječih strukturnih elementov za zajem in izpust zmanjša vpliv gradbenih posegov.
- Zmanjša se potreba po prostoru in človekov vpliv na krajino.
- Če je zajeta voda odvzeta iz izpusta hladilne vode, se zmanjša potreba po energiji pri postopku RO za 5-8 % zaradi večje prepustnosti membran pri višji temperaturi vode.
- Če se hladilna voda ponovno uporabi kot surova voda pri razsoljevalnem procesu, se zmanjša skupna količina zajete vode iz morja.
- Slanico lahko pred izpustom mešamo s hladilno vodo, kar občutno zmanjša njeno slanost (Lattemann, 2010) .

2.4.2.5 Sončno izhlapevanje

Tehnologija sočnega izhlapevanja uporablja plitve bazene slanice, v katerih voda izhlapeva po naravnem postopku. Evaporacijski bazeni so konstrukcijsko nezahtevni za izvedbo in vzdrževanje. Razen črpalke, ki omogoča dotok slanice v bazene, ne zahtevajo nobene dodatne strojne opreme. Veliko pozornost je potrebno nameniti pravilni izvedbi in vzdrževanju sistema, da se izognemo negativnim vplivom na okolje, predvsem onesnaževanju podzemnih voda (Morillo in sod., 2014). Najpomembnejša je neprepustna podlaga bazena, izdelana večinoma iz umetnih materialov, kot sta PVC in PET, možne pa so tudi naravne izvedbe z glinenim dnom, pri katerih je pričakovano manjše pronicanje slanice v tla. Morebitno puščanje evaporacijskih bazenov bi lahko onesnažilo podtalnico. Solarno izhlapevanje je primerno za uporabo samo v sušnih podnebjih, kjer so na razpolago velike površine, saj je globina takih bazenov od 25 do 45cm (Morillo in sod., 2014, cit. po Gregorič, 2016).

2.4.2.6 Fitorazsoljevanje (rastlinsko razsoljevanje)

Uporaba slanice za namakanje kmetijskih zemljišč je omejena zaradi majhnega odstotka rastlin s toleranco na visoko raven slanosti. Rastline, ki uspevajo na slanih tleh in prenesejo oziroma potrebujejo visoke koncentracije soli, imenujemo halofiti. Polja s halofiti je možno namakati s slanico ali mešanico slanice in pitne vode (Morillo in sod., 2014). Vseeno pa je potrebno namakati zmerno, saj visoke koncentracije natrija zmanjšajo prepustnost tal in izhlapevanje, kar rastlinam oteži vpijanje vlage (Morillo in sod., 2014, cit. po Gregorič, 2016).

2.5 Okoljske zahteve

Sredozemsko morje se v smeri zahod-vzhod razteza na razdalji približno 3860 km od Gibraltarske ožine do obale Bližnjega vzhoda. Njegova površina znaša 2,7 milijona km². Sredozemsko morje ima negativno vodno bilanco, saj je izhlapevanje večje od dotoka vode iz rečnih pritokov in padavin. Letni deficit znaša približno 2500 km³. Posledično je slanost Sredozemskega morja (do 39 ppt), višja od slanosti Atlantskega oceana (36 ppt), s katerim sta povezana prek Gibraltarske ožine, ki predstavlja edino območje, kjer se izmenjujeta Atlantska in Sredozemska morska voda. Okoljsko stanje Sredozemskega morskega okolja se razlikuje od kraja do kraja, vendar so vsi deli podvrženi pritiskom človekovih

dejavnosti. Onesnaževanje s kopenskimi industrijskimi in gospodinjskimi odpadnimi vodami, izpusti iz kmetijske rabe, spiranje prsti ter pritiski ribištva povzročajo okoljske spremembe v obalnih in morskih ekosistemih. Po mnenju Michaela Hogana (Hogan, 2011) je v Sredozemskem morju in rokavih njegovih pritokov več kot 1000 vrst makroflore; približno 20 % teh vrst je endemičnih, kar predstavlja visoko raven endemizma vodnih rastlin. Na obalnih območjih lahko najdemo dva izjemno pomembna ekosistema, magnoliophyta (kot je npr. Posidonia, ključni sredozemski ekosistem) in koraligene alge. Morska pozejdanka ima ključno vlogo v naravnem ravnotežju mediteranskega ekosistema, saj stabilizira sedimente in zagotavlja prostor za razmnoževanje več kot tisočim različnim vrstam živilja. V skladu z direktivami Evropske unije se uvršča med prioritete habitate. Za njeno uspevanje je potrebna poleg sonca, zaradi katerega uspeva samo v plitvih vodah blizu obale, tudi stabilna raven slanosti (UNEP/MAP, 2015).

Stanje biotske raznovrstnosti pogosto odraža kumulativni vpliv okoljskih pritiskov na Sredozemsko obalno in morsko okolje. Približno 19 % znanih mediteranskih vrst je ogroženih. Na primer, Sredozemska medvedjica (vrsta tjulnja iz družine pravih tjulnjev) je ena izmed najbolj ogroženih živalskih vrst sesalcev na svetu. To velja tudi za hrustančnice, od katerih 42 odstotkom vrst morskih psov grozi izumrtje (UNEP/MAP, 2015).

2.5.1 Kemijsko in ekološko stanje slovenskega morja

Slovensko morje je razdeljeno na šest vodnih teles, katerih kemijsko in ekološko stanje se določa na osnovi zahtev evropske Vodne direktive oziroma Uredbe o stanju površinskih voda in Pravilnika o monitoringu stanja površinskih voda. Na petih obalnih vodnih telesih se določa ekološko in kemijsko stanje, na vodnem telesu teritorialnega morja pa le kemijsko stanje, na območju celotnega morja pa se po zahtevah Okvirne direktive o morski strategiji (Direktiva 2008/56/ES) določa okoljsko stanje morja (Poje in Sever, 2015).

Ekološko stanje se ocenjuje na podlagi bioloških elementov kakovosti, splošnih fizikalno-kemijskih elementov, hidromorfoloških elementov ter posebnih onesnaževal, ki se odvajajo v vodno okolje. Ocena ekološkega stanja predstavlja spremembo vrednosti glede na referenčno stanje (Poje in Sever, 2015).

Dobro ali slabo kemijsko stanje vodnega telesa se določi na podlagi rezultatov kemijske analize vzorcev morja, ki vključuje prednostne snovi ter prednostno nevarne snovi. Okoljski standardi kakovosti za parametre kemijskega stanja so določeni kot letne povprečne vrednosti (LP-OSK) in kot največje dovoljene koncentracije v vodi (NDK-OSK). Posamezen parameter določa dobro kemijsko stanje vodnega telesa, če letna povprečna vrednost parametra na nobenem od mest vzorčenja ni večja od predpisanega okoljskega standarda in največja izmerjena vrednost parametra kemijskega stanja na nobenem od mest vzorčenja ni večja od največje dovoljene koncentracije. Za vodna telesa je potrebno zagotoviti tudi dolgoročno analizo trenda koncentracij nekaterih parametrov, ki so nagnjeni h kopičenju v sedimentu oziroma živih organizmih (Poje in Sever, 2015). Parametri kemijskega stanja površinskih voda in okoljski standardi kakovosti za parametre kemijskega stanja (osk) so podani v prilogah Uredbe o stanju površinskih voda (Ur. l. RS št. 14/09, 98/10, 96/13 in 24/16).

Na območjih s posebnimi zahtevami, kamor sodijo tudi območja, pomembna za življenje in rast morskih lupinarjev, morajo biti poleg zahtev Vodne direktive, dodatno izpolnjene tudi zahteve Direktive 2006/113/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 12. decembra 2006 o zahtevah glede kakovosti voda, primernih za lupinarje. Ta je bila na nivoju Evropske skupnosti pred leti razveljavljena, na nacionalnem nivoju pa še veljajo trije okoljski predpisi, s katerimi je bila omenjena direktiva prenesena

v naš pravni red. Dele morja v Sloveniji, namenjene gojenju in nabiranju morskih školjk in morskih polžev določa Pravilnik o določitvi delov morja, kjer je kakovost vode primerna za življenje in rast morskih školjk in morskih polžev (Ur. l. RS št. 38/2015), zahteve za kakovost vode v teh območjih in monitoring pa določata Uredba o kakovosti vode za življenje in rast morskih školjk in morskih polžev (Ur. l. RS št. 52/2007) ter Pravilnik o monitoringu kakovosti površinske vode za življenje in rast morskih školjk in morskih polžev (Ur. l. RS 71/2002) (Poje in Sever, 2015).

2.6 Modeliranje izpustov slanice

Pri načrtovanju in modeliranju izpustov bodisi odpadnih voda bodisi slanice, je potrebno razlikovati hidrodinamične procese mešanja, ki določajo odtok in širjenje izpustov in pravne predpise za območje mešanja, katerih namen je preprečiti škodljive vplive na okolje. Proces mešanja je odvisen predvsem od interakcije okoljskih pogojev v recipientu in lastnosti onesnaženega toka. Okoljski pogoji v recipientu so opisani z geometrijskimi in dinamičnimi lastnostmi. Pomembni geometrijski parametri so tlorisna površina, vertikalni profil in batimetrija, še posebej v bližini izpusta. Dinamične lastnosti so podane s hitrostjo toka in gostoto vode, ponovno predvsem v bližini izpusta. V večini primerov se lahko v recipientu privzame stalni enakomerni tok, saj red velikosti procesa mešanja traja povprečno od nekaj minut do maksimalno ene ure (Doneker in Jirka, 2007).

2.6.1 Delitev območij

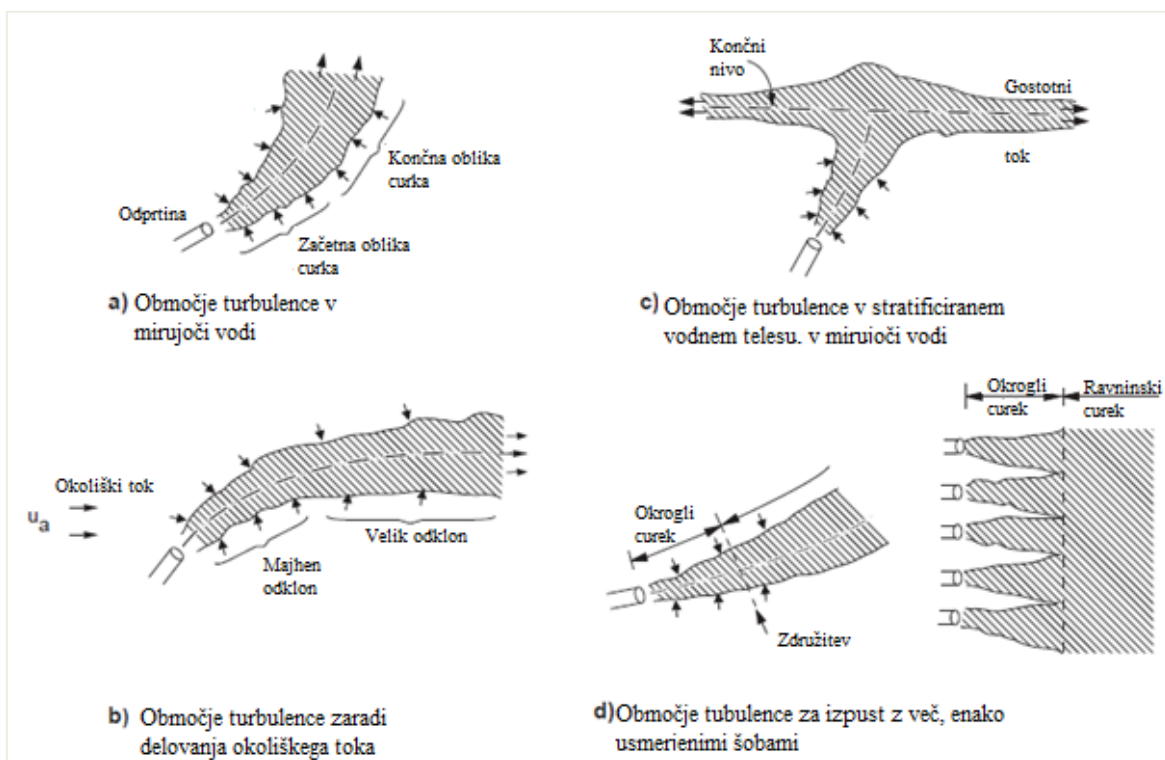
Pri modeliranju izpustov se vplivno območje razdeli na več območij. Prvo območje je izpustni cevni sistem, ki je zasnovan kot notranji cevni kolektor. Ne spreminja lastnosti izpusta (onesnaženega toka, v obravnavanem primeru slanice), vendar znatno prispeva k nadaljnjim disperzijskim procesom s prenosom onesnaženega toka na ustrezne lokacije izpusta, in prostorsko, s širjenjem onesnaženega toka v območju izpustnega cevne sistema. Lastnosti toka so odvisne od razlike tlakov med izpustnim tokom in vodo v recipientu ter razliko gostote onesnaženega toka in vode v okolici. Različne oblike izpusta imajo neposreden vpliv na porazdelitev pretoka in tlačne izgube. V drugem območju, imenovanem bližnje območje (ang. near field), začetne lastnosti curka, kot so gibalna količina, vzgonski učinek in oblika izpusta (orientacija in razporeditev) vplivajo na trajektorijo toka in stopnjo mešanja. Turbulenca, ki nastane zaradi izpusta povzroči premikanje okoliške vode in redči onesnaženi tok. Naslednje območje je vmesno območje (ang. intermediate field), za katero je značilen vpliv omejenega turbulentnega oblaka slanice in prehod od navpično dvigajočega (pozitiven vzgon) ali padajočega (negativen vzgon) oblaka slanice do horizontalnega gibanja. Fizikalne lastnosti iztekajočega curka tukaj izgubljajo vpliv. Zadnje območje je oddaljeno območje (ang. far field), kjer na potek trajektorij in razredčenje turbulentnega oblaka slanice vplivajo lastnosti okoliške vode. Na širjenje onesnaženja vplivajo tokovi, plimovanje, površinske napetosti zaradi vetra, gradienti tlaka zaradi nagibov gladine ali gostotnih gradientov in Coriolisova sila. Vertikalno mešanje je v stratificiranih vodnih telesih omejeno z vzgonom, zato je razredčenje posledica predvsem horizontalnega mešanja s turbulentnimi vrtinci. Proces razredčenja je v oddaljenem območju odvisen od difuzije in tudi od naravnih bioloških ali kemijskih transformacijskih procesov (Bleninger in Jirka, 2010).

2.6.1.1 Bližnje območje (near field)

Na proces mešanja v bližnjem območju imajo največji vpliv mešanje zaradi podvodnega izpusta, vpliv meje modela in mešanje zaradi površinskega izpusta (Doneker in Jirka, 2017).

Podvodni izpust

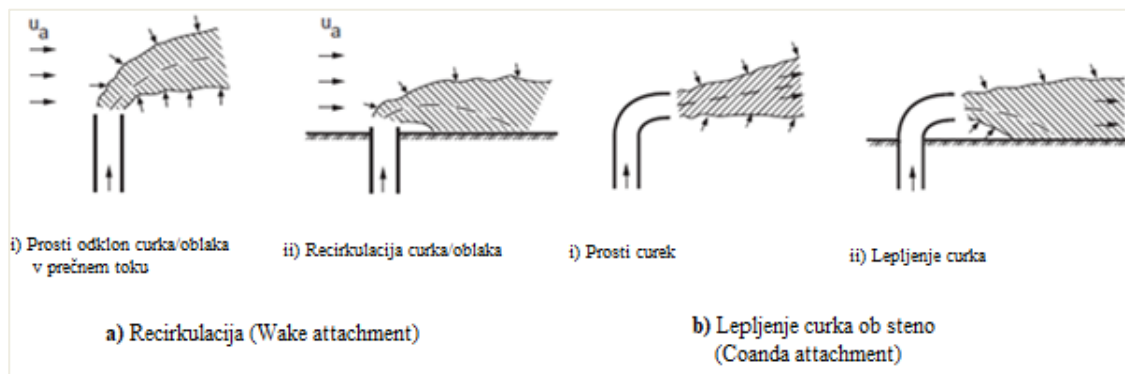
"Čisti curek (predpostavljene enake gostote izpusta in recipienta)" v trenutku iztoka zaradi velike hitrosti povzroči turbulentno mešanje. V primeru različne gostote med iztokom in recipientom je turbulenca posledica vzgonskega toka. Največkrat se srečujemo s kombinacijo obeh. V mirujoči vodi je turbulenca odvisna od orientacije izpusta in smeri vzgonskega pospeška (slika 8a), v enakomernem toku pa poleg navedenega k obliki prispeva še hitrost tokov v recipientu (slika 8b). V stratificiranem vodnem telesu spremembe v gostoti nasprotujejo vzgonu, preprečujejo nadaljnje vertikalno gibanje ter povzročijo, da se oblak "ujame" na določeni globini (slika 8c). Podvodni izpust okrogle oblike v primeru iztoka z več difuzorji se obnaša kot enojni; na določeni razdalji je interakcija zadostna, da skupina difuzorjev deluje kot ravninski curek (slika 8d)(Doneker in Jirka, 2017, cit. po Sedej, 2006).



Slika 8: Tipični primeri curka iz podvodnega izpusta v različnih okoljskih pogojih (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)

Vpliv meje modela

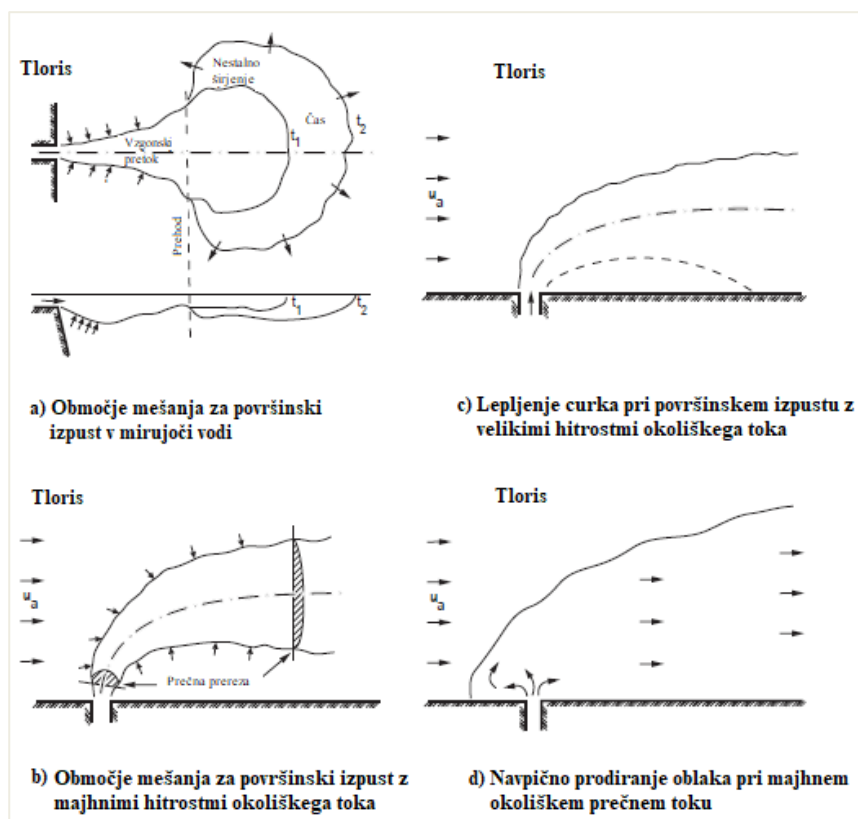
Meje modela vplivajo na proces mešanja, tako v bližnjem kot v oddaljenem območju. V prvem primeru (slika 9a) meja modela povzroči recirkulacijo (wake attachment) dolvodno od izpusta. V drugem primeru meja modela zaradi izpusta, vzporednega meji modela, zaradi podtlaka povzroči lepljenje curka ob steno (Coanda attachment, slika 9b) (Doneker in Jirka, 2017, cit. po Sedej, 2006).



Slika 9: Primeri recirkulacije dolvodno od izpusta (wake attachment) in lepljenje curka ob steno (Coanda attachment) za curke iz izpustov v bližini meje modela (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)

Površinski izpust

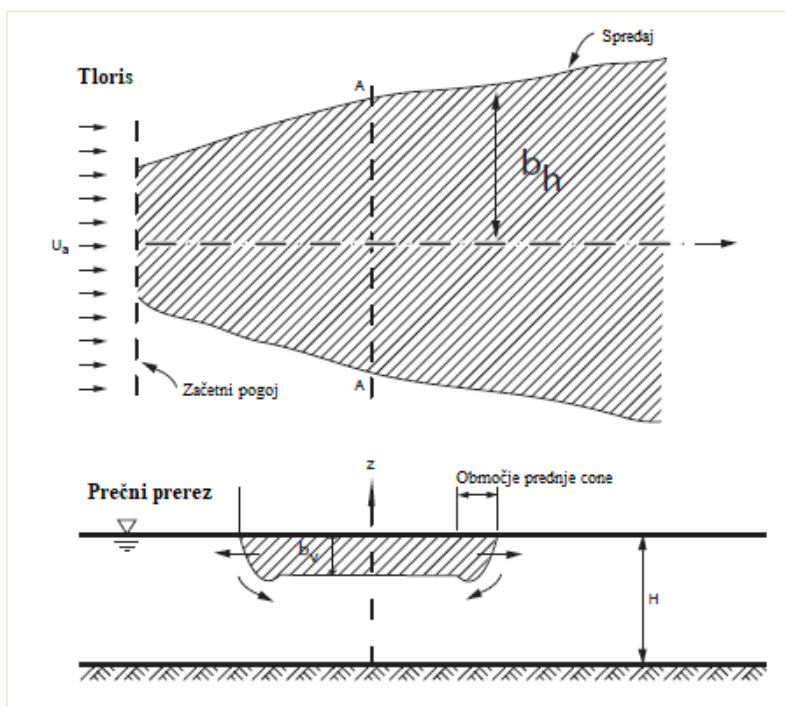
Površinski izpust, ki se izliva v recipient horizontalno (slika 10), s pozitivno usmerjenim pospeškom (vzgon), se obnaša podobno kot podvodni izpust. Na relativno kratki razdalji se obnaša kot curek in se zaradi turbulence širi v vodno telo v prečni ter vertikalni smeri. Na sliki 14 so prikazane štiri najbolj tipične oblike mešanja površinskega izpusta (Doneker in Jirka, 2017, cit. po Sedej, 2006).



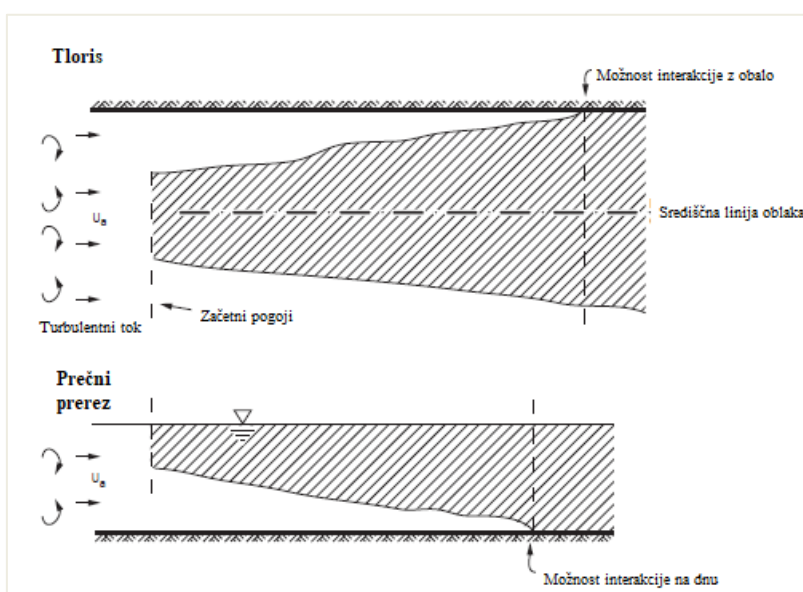
Slika 10: Tipične oblike mešanja površinskega izpusta (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)

2.6.1.2 Oddaljeno območje (*far field*)

V oddaljenem območju se območje mešanja širi s tokom, hkrati pa poteka tudi mešanje v prečni smeri. V odvisnosti od gostote v območju obravnave se v splošnem ločita dva načina mešanja. Če je recipient stratificiran, se v odvisnosti od gostote, curek širi po površini recipienta ali pa je ujet v stratificirani coni (slika 11). Če recipient ni stratificiran in je razlika med gostotama recipienta in "oblaka" neznatna, pride do t.i. pasivne oblike mešanja (slika 12)(Doneker in Jirka, 2017, cit. po Sedej, 2006).



Slika 11: Oblika širjenja oblaka slanice v oddaljenem območju ob stratifikaciji (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)

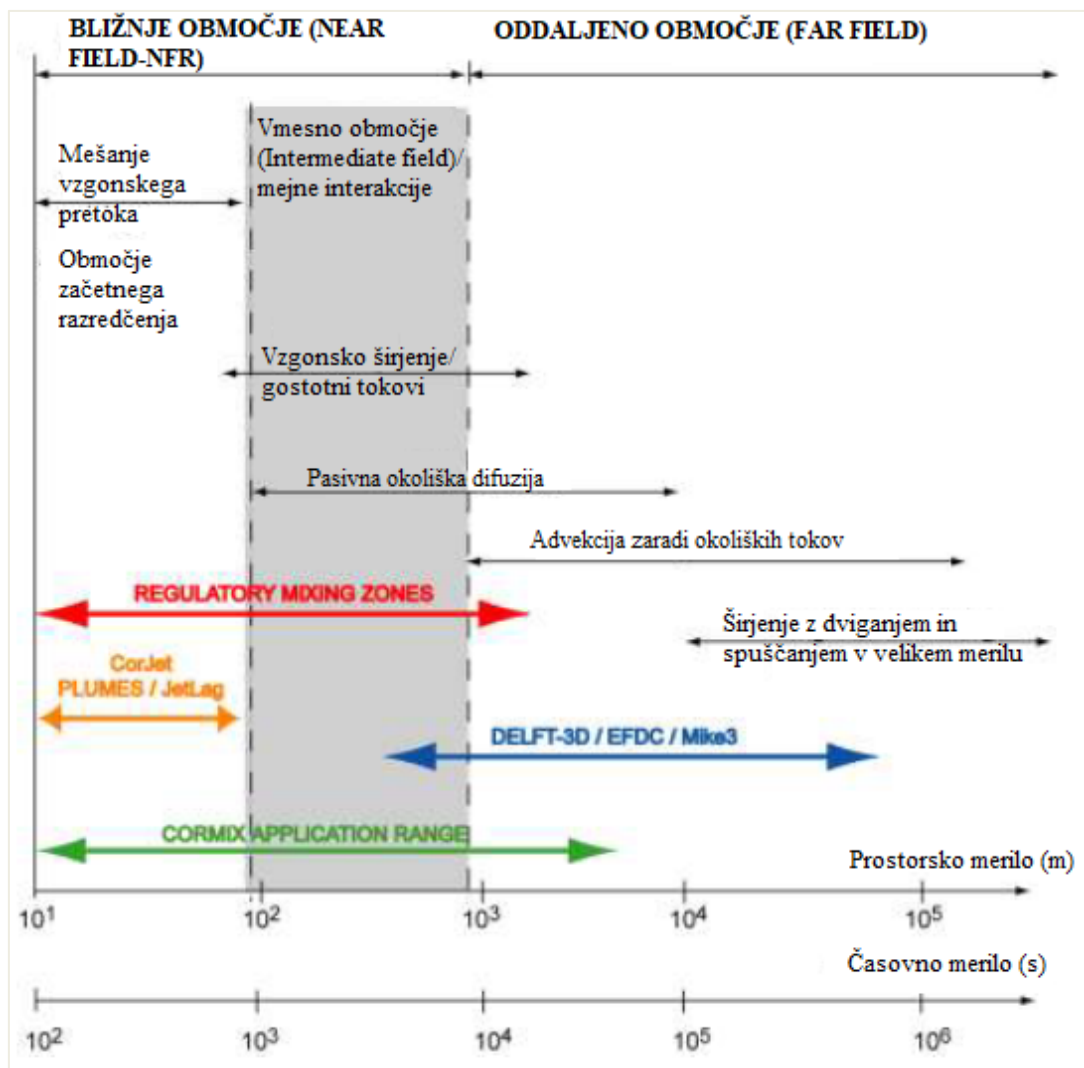


Slika 12: Pasivna oblika mešanja v nestratificiranem recipientu (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)

Za preučevanje mešanja slanice in prikaz skladnosti z vrednostmi okoljskih standardov obstaja več diagnostičnih in napovednih metodologij (Bleninger in Jirka, 2010):

- **Terenske meritve ali sledilni testi**, ki se uporabljajo v primeru že obstoječih izpustov, da se preveri skladnost z okoljskimi zahtevami. Meritve na terenu so drage, pogosto težko izvedljive in jih je pogosto potrebno podpreti z matematičnimi napovednimi modeli.
- **Študije na hidravličnih modelih** posnemajo postopek mešanja v naravi v pomanjšanem merilu v laboratoriju. Podkrepljeni so z zakoni modelne podobnosti in so lahko precej zanesljivi. Izvedba pa je draga, poleg tega so neučinkoviti za preučevanje vseh možnih interakcij med okoljem in izpusti.
- **Enostavne analitične enačbe ali nomogrami** so pogosto zadovoljivi za razmeroma zanesljivo napovedovanje procesov mešanja onesnaženega oblaka z okoliško vodo.
- **Modeli območja mešanja** so preproste različice bolj splošnih modelov za simulacijo kakovosti vode. V fini resoluciji opisujejo podrobnosti fizikalnih procesov mešanja (advekcije in difuzije), vendar so omejeni na sorazmerno enostavno kinetiko onesnaževal, ki jih obravnavamo kot konservativne snovi ali z enačbami linearnega razpada. To je sprejemljivo za večino računov, saj so časi zadrževanja v prostorsko omejenih območjih mešanja običajno kratki, tako da so kemične ali biološke spremembe mase večinoma nepomembne.
- **Modeli toka, transporta in kakovosti vode** so primernejši v bolj zapletenih situacijah. V preprostih vodnih telesih, kot so reke, obalna območja ali rečna ustja z natančno opredeljenimi enosmernimi tokovnimi režimi ali z zmernimi obremenitvami z onesnaževali, je lahko uporaba modelov omejenega območja mešanja zadostna za preverjanje skladnosti z okoljskimi standardi. V obalnih območjih z različnimi cirkulacijskimi režimi (vztrajnostnim, plimnim, vetrovnim ali termohalinim) ter v rekah in ob obalah z velikimi obremenitvami z onesnaževali iz več virov onesnaženja in/ali pri dodatnih razpršenih virih ter pri kompliciranih robnih pogojih, se uporabljajo modeli, dopolnjeni z moduli za račun tokov, transporta in kakovosti vode v večjem merilu (oddaljeno območje).

Procesi mešanja izpustov slanice potekajo v različnem časovnem in prostorskem merilu (slika 13). Ker jih ni možno simulirati z enim splošnim modelom, se v bližnjem in v oddaljenem območju uporabljajo ločeni modeli, ki jih nato povežemo (Bleninger in Jirka, 2010).



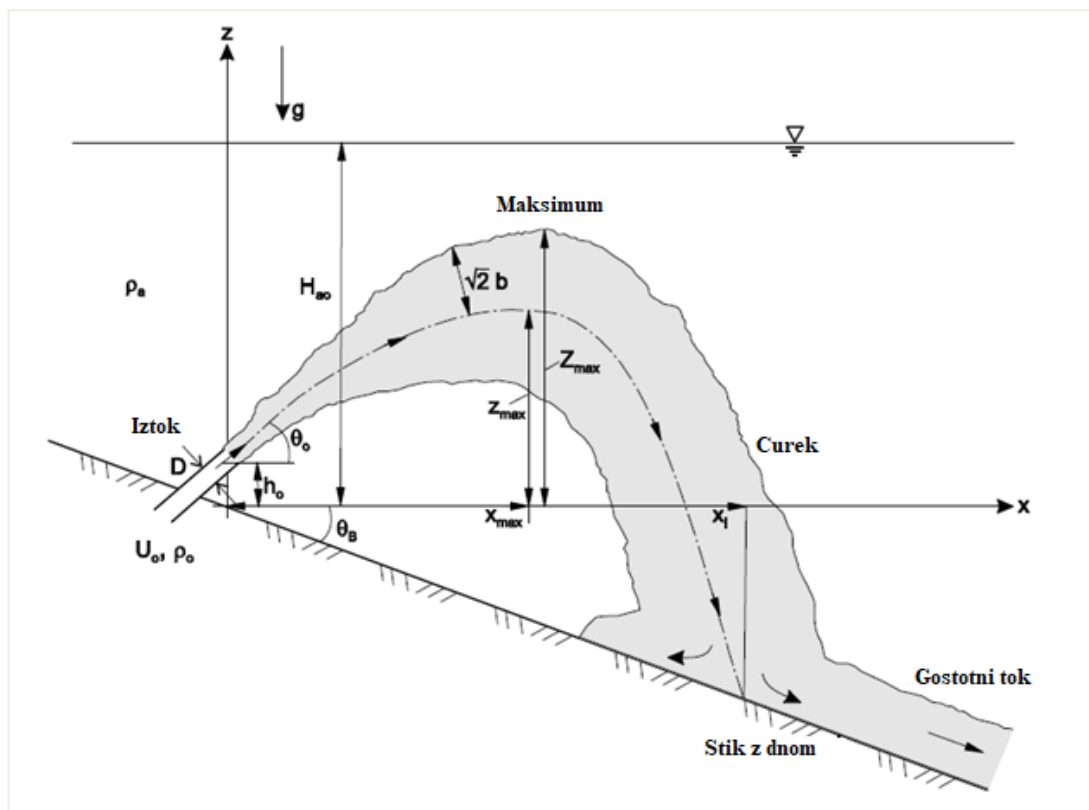
Slika 13: Tipična prostorska in časovna merila transporta in procesov mešanja, povezana z odvajanjem odpadnih voda v morje in zmogljivostjo modelov (povzeto po Bleninger in Jirka, 2010)

2.6.2 Nomogrami

Po zasnovanem načrtu razsoljevalne naprave je potrebno izračunati začetne lastnosti izpusta slanice. Metode so zelo posplošene in shematizirane tako, da omogočajo izračun reda velikosti koncentracij in približne geometrije izpusta. Opredelitev in izračun teh osnovnih parametrov omogoča klasifikacijo toka, določitev trajektorij in geometrije oblaka slanice ter določitev pričakovanih mejnih interakcij. Pomembno je, da se pomena takih preiskav v fazi načrtovanja ne podcenjuje, saj služijo kot izhodišče za nadaljnje podrobnejše študije vplivov na okolje in modeliranja procesov. Preglednice za računanje (screening calculators) temeljijo na poenostavljenih, vendar potrjenih znanstvenih teorijah. Kodirane so v Excelovih preglednicah in ponazorjene z nomogrami. Preglednica je imenovana »kalkulator izpusta« in vključuje tudi kalkulator gostote. Oba sta opisana v nadaljevanju (Bleninger in Jirka, 2010).

Slika 14 prikazuje shematski prikaz splošnih parametrov kalkulatorja izpusta-RO v prečnem prerezu, na primeru izpusta z negativnim vzgonskim tokom v odvodnik, z lokalno globino okoliške vode H_{a0} in naklonom dna θ_B . Geometrija izpusta je podana s premerom D , višino izpustne cevi nad dnom h_0 in njenim naklonom nad horizontalo θ_0 . Upoštevana je predpostavka, da je voda v odvodniku

nestratificirana, s konstantno gostoto ρ_a in v stoječem stanju. Curek ima izpustno hitrost U_0 in gostoto $\rho_0 > \rho_a$.



Slika 14: Shematski prikaz splošnih parametrov kalkulatorja izpusta-RO v prečnem prerezu, na primeru izpusta z negativnim vzgonskim tokom v odvodnik z nagnjenim dnom (povzeto po Bleninger in Jirka, 2010)

Velike hitrosti na izpustu povzročijo turbulentni curek, ki se najprej dviguje do maksimalnega nivoja (zgornja meja oblaka slanice Z_{max} , središčna višina z_{max} , obe na razdalji od izpusta x_{max} in razredčitvijo S_{max}), nato se prične spuščati zaradi vpliva negativnega vzgonskega pospeška, dokler ne zadene ob dno (pri x_i z razredčenjem S_i). Stik curka z dnom je kompleksen tridimenzionalni proces, ki vključuje širjenje v več smeri (naprej, bočno, delno vzvratno), dokler se ne ustvari gostotni tok, ki propagira v smeri naklona dna (Bleninger in Jirka, 2010).

2.6.2.1 Kalkulator gostote in viskoznosti

Najpomembnejša lastnost slanice je njena relativna gostota, ki močno vpliva na proces mešanja in disperzijo. Gostota morske vode, slanice in celinske vode je funkcija slanosti, temperature in tlaka. V podanih definicijah je vpliv tlaka zanemarljiv, pri čemer pa smemo enačbe uporabljati samo pod normalnim atmosferskim tlakom in ne znotraj razsoljevalne naprave. Kalkulator je programiran v MS Excelovi preglednici in je na voljo za prenos na spletni strani www.brinedis.net.ms. Kalkulator gostote temelji na enačbah podanih v El-Dessouky in Ettouny (2002) in velja za slanost od 0 do 160 ppt in temperaturo med 10 in 100 ° C pri tlaku $p = 1 \text{ atm}^1$. Gostota je podana z enačbo (Bleninger in Jirka, 2010):

¹ V besedilu puščamo enoto atm, kot je navedena v originalnem viru kljub neskladju z SI enotami.

$$\rho = (A_1 F_1 + A_2 F_2 + A_3 F_3 + A_4 F_4) \cdot 10^3 \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (1)$$

kjer veljajo relacije med koeficienti in parametri:

$$\begin{aligned} F_1 &= 0,5 \\ G_1 &= 0,5 \\ A_1 &= 4,032219 G_1 + 0,115313 G_2 + 3,26 \cdot 10^{-4} G_3 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} F_2 &= A \\ G_2 &= B \\ A_2 &= -0,108199 G_1 + 1,571 \cdot 10^{-3} G_2 - 4,23 \cdot 10^{-4} G_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_3 &= 2 A^2 - 1 \\ G_3 &= 2 B^2 - 1 \\ A_3 &= -0,012247 G_1 + 1,74 \cdot 10^{-3} G_2 - 9,0 \cdot 10^{-6} G_3 \end{aligned} \quad (3)$$

$$F_4 = 4 A^3 - 3 A \quad (4)$$

$$A_4 = 6,92 \cdot 10^{-4} G_1 - 8,7 \cdot 10^{-5} G_2 - 5,3 \cdot 10^{-5} G_3 \quad (5)$$

$$A = (2 T - 200) / 160 \quad (6)$$

$$B = (2 Sal - 150) / 150 \quad (7)$$

in sta T - temperatura [$^{\circ}\text{C}$] in Sal – slanost [ppt].

Dinamična (en. 8) in kinematična (en. 9) viskoznost morske vode sta podani z:

$$\mu = \mu_w \cdot \mu_R \cdot 10^{-3} \text{ [kg/(ms)]} \quad (8)$$

$$\nu = \mu / \rho \text{ [m}^2\text{/s]} \quad (9)$$

pri čemer veljajo relacije:

$$\ln(\mu_w) = -3,79418 + 604,129 / (139,18 + T) \quad (10)$$

$$\mu_R = 1 + A \cdot Sal + B \cdot Sal^2 \quad (11)$$

$$A = 1,474 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-5} T - 3,927 \cdot 10^{-8} T^2 \quad (12)$$

Slika 15 prikazuje preglednico kalkulatorja gostote, ki zahteva vnos temperature in slanosti za izračun gostote z uporabo enačb 1 – 12. Slika 16 prikazuje nomograma za določanje gostote in viskoznosti pri določeni slanosti in temperaturi.

V literaturi obstajajo za izračun gostote številne enačbe (npr. UNESCO Tehnične publikacije). Ker UNESCO uporablja različne enačbe za različna območja slanosti in temperature, je v kalkulatorju uporabljena enačba El-Dessouky in Ettouny (2002), ki zajema širok spekter slanosti in temperatur z eno

enačbo ter upošteva, da se aplikaciji uporablja pri izpušnih slanice. Vrednosti se vedno izračunajo za vodno gladino ($p = 1 \text{ atm}$), saj je gostota odvisna tudi od tlaka (Bleninger in Jirka, 2010).

SEAWATER DENSITY & VISCOSITY CALCULATOR

Please enter the values of salinity and temperature of the effluent or ambient water ($p=1\text{atm}$):

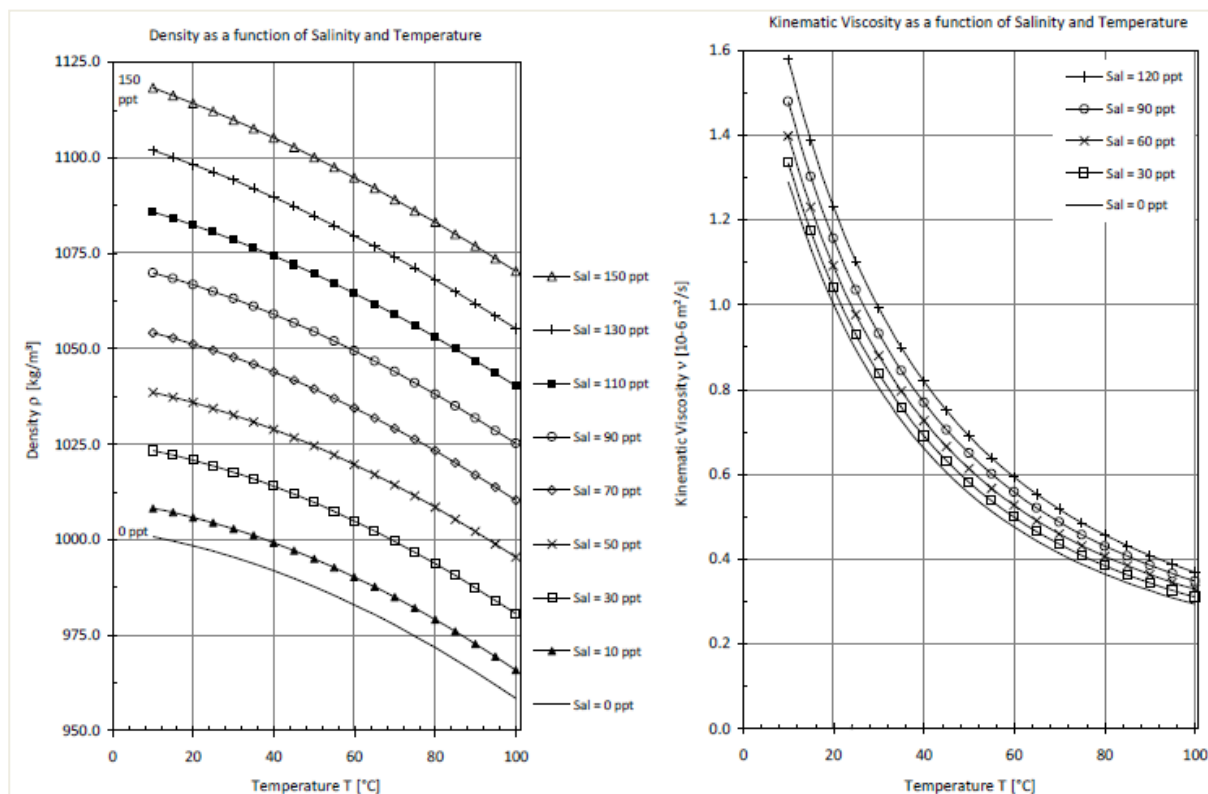
Salinity:	Sal =	39.64	ppt	for ρ : $0 \leq \text{Sal} \leq 160$ ppt for μ : $0 \leq \text{Sal} \leq 130$ ppt
Temperature:	T =	107.00	$^{\circ}\text{C}$	$10 \leq T \leq 180$ $^{\circ}\text{C}$

Density:	$\rho =$	982.728	kg/m^3
Dynamic Viscosity:	$\mu =$	0.291	$\cdot 10^{-3} \text{ kg/m s}$
Kinematic Viscosity:	$\nu =$	0.296	$\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

source:

El-Dessouky, Ettouney (2002): Fundamentals of Sea Water Desalination (Appendix A: Thermodynamic Properties)

Slika 15: Preglednica kalkulatorja gostote (Bleninger in Jirka, 2010)



Slika 16: Nomograma za določanje gostote slanice ali morske vode in viskoznosti za različne slanosti in temperature, ki uporabljata enačbo El-Dessouky in Ettouny (2002) (Bleninger in Jirka, 2010)

2.6.2.2 Kalkulator izpusta

Kalkulator izpusta izračuna fizikalne in kemične lastnosti iztoka na izstopni točki in okoliške vode. Obstajata dva kalkulatorja. Prvi je kalkulator izpusta-RO, namenjen izračunom slanice z veliko gostoto, vključuje pa tudi oceno začetnega redčenja v bližnjem območju v poenostavljenih razmerah. Drugi je kalkulator izpusta- MSF, namenjen termičnim izpustom, ki tudi vključuje oceno začetnega redčenja pri tej vrsti izpusta. Kalkulatorji so programirani v MS Excelovi preglednici in so na voljo na spletni strani www.brinedis.net.ms. Na sliki 17 je prikazana prva preglednica kalkulatorja izpustov-RO, s katero določimo lastnosti iztoka. V rumene celice vnašamo podatke, ostala polja se izračunajo in posodobijo samodejno (Bleninger in Jirka, 2010).

Flowrates & Effluent Characteristics			
- ambient characteristics			
ambient temperature	$T_a =$	20.00 °C	annotations: $T = 10$ to 180°C $Sal = 0$ to 160 ppt (ppt = g/kg) allowed ranges for viscosity calculation: $Sal = 0$ to 130 ppt, $T = 10$ to 180°C (following El-Dessouky, Ettouney (2002))
ambient salinity	$Sal_a =$	33.00 ppt	
ambient density	$\rho_a =$	1023.02 kg/m ³	
ambient kin. viscosity	$\nu_a =$	1.05E-06 m ² /s	
- drinking water (permeate)			
flowrate	$Q_{drink} =$	6.00 m ³ /s	recovery rate: percentage of intake water converted into permeate; plant characteristic; following Lattemann: $r = 40$ -65%
recovery rate	$r =$	50 %	
intake flowrate	$Q_{in} =$	12.00 m ³ /s	
- brine characteristics (effluent from desalination process)			
plant effluent flowrate	$Q_{desal} =$	6.00 m ³ /s	ambient or 1°C above with $Sal_{drink} = 0$ ppt e.g. coagulants, anti-scalants,
temperature	$T_{desal} =$	20.00 °C	
salinity	$Sal_{desal} =$	66.00 ppt	
density	$\rho_{desal} =$	1048.12 kg/m ³	
substance concentration	$C_{desal} =$	20.00 ppm	
- blended effluent - external - (e.g. waste water or others)			
flowrate	$Q_{eff,ex} =$	5.00 m ³ /s	$Sal = 0$ to 160 ppt, $T = 10$ to 180°C
temperature	$T_{eff,ex} =$	20.00 °C	
salinity	$Sal_{eff,ex} =$	8.00 ppt	
density	$\rho_{eff,ex} =$	1004.33 kg/m ³	
Final effluent characteristics:			
flowrate	$Q_o =$	11.00 m ³ /s	mean average mean average $g_o' = g * ((\rho_v - \rho_o) / \rho_v)$ $g_o' < 0$: negatively buoyant, $g_o' > 0$: positively buoyant allowed ranges for viscosity calculation: $Sal = 0$ to 130 ppt, $T = 10$ to 180°C (following El-Dessouky, Ettouney (2002))
effluent temperature	$T_o =$	20.00 °C	
effluent salinity	$Sal_o =$	39.64 ppt	
effluent density	$\rho_o =$	1028.03 kg/m ³	
buoyant acceleration -> negatively buoyant, ok!	$g_o' =$	-0.04804 m/s ²	
kin. viscosity	$\nu_o =$	1.06E-06 m ² /s	
substance concentration	$C_o =$	10.91 ppm	

Slika 17: Preglednica kalkulatorja izpustov-RO, ki določa končne lastnosti odtoka (Bleninger in Jirka, 2010)

Značilnosti okoliške vode

Najprej podamo temperaturo in slanost v okolici izpusta, ki sta kar povprečna temperatura in slanost na mestu zajema. Kasneje lahko podroben vpliv temperature in/ali slanosti na izpust raziščemo s spreminjanjem teh vrednosti in primerjavo rezultatov. Kalkulator samodejno izračuna in posodobi pripadajočo gostoto in viskoznost z uporabo vgrajenega kalkulatorja gostote (Bleninger in Jirka, 2010).

Lastnosti pitne vode (permeata)

Vnesemo pretok permeata in izkoristek, ki je definiran kot razmerje pretokov permeata in zajema. Pri toplotnem razsoljevanju je vrednost izkoristka povezana le s pretokom, brez upoštevanja hladilne vode (ki je kasneje dodana), torej upoštevamo samo proces razsoljevanja. Kalkulator samodejno izračuna potreben pretok zajema in pretok slanice s pomočjo enačb masnih bilanc (Bleninger in Jirka, 2010).

Lastnosti koncentrata

Za izračun lastnosti koncentrata kalkulator potrebuje temperaturo koncentrata (običajno le malo nad temperaturo zajete vode za RO in okoli 10 °C nad temperaturo okolja za MSF). Kalkulator izračuna slanost in gostoto koncentrata, poleg tega pa tudi koncentracijo dodatnih snovi (eno za RO, tri za MSF) s čimer upoštevamo uporabo in doziranje aditivov (flokulantov, antiskalantov, klora) in preučujemo učinek koncentracije dodatkov na končne lastnosti iztoka (Bleninger in Jirka, 2010).

Mešani izpusti

Kalkulator omogoča vnos največ enega (RO) ali dveh (MSF) dodatnih izpustov, ki se združijo na mestu iztoka. To omogoča upoštevanje izpustov iz naprave za razsoljevanje, zmešanih z drugimi izpusti, npr. odpadne vode ali hladilne vode iz procesa ali iz obratov za sočasno proizvodnjo toplote in električne energije. Za te izpuste podajamo pretok, temperaturo in slanost ter, če je možno, koncentracije dodatnih snovi, ki se nanašajo nanje. (Bleninger in Jirka, 2010).

Rezultati – končne lastnosti izpusta

Rezultati so končni pretok, temperatura in slanost v točki izpusta ter posledična gostota in viskoznost ter koncentracije snovi v curku. Poleg tega kalkulator izračuna vzgonski pospešek, ki definira gibanje zaradi razlike v gostoti in je definiran kot:

$$g_o' = g (\rho_o - \rho_a) / \rho_o \quad (13)$$

kjer je g = gravitacijski pospešek, ρ_o = gostota odpadne vode na točki izpusta, ρ_a = gostota okoliške vode (Bleninger in Jirka, 2010).

2.6.2.3 Analiza merila in klasifikacija pretoka

Značilni parametri izpustov se izračunajo v drugi preglednici kalkulatorja izpustov, s čimer je mogoče analizirati in interpretirati specifične pogoje izpusta. Kalkulator-RO že vključuje načrtovanje geometrije izpustov in omogoča računanje prvega sklopa načrtovalskih (konstrukcijskih) alternativ. Postopek temelji na metodologiji, ki jo je predlagal Jirka (2008). Izračun značilnih parametrov iztoka zato ne računa redčenja ali porazdelitve koncentracij, ampak skuša razlikovati med različnimi režimi toka z njegovo klasifikacijo. Tako imenovana analiza dolžinskega merila omogoča razlikovanje med območji prevladujočega curka in tok klasificira v različne režime (enačbe 14 – 23). Na sliki 18 je prikazan fizikalni pomen dolžinske mere L_M .

– Dolžina prehoda curek/oblak:

$$L_M = \frac{M_0^{3/4}}{J_0^{1/2}} \text{ za izpust z eno odprtino} \quad (14)$$

$$l_M = \frac{m_0}{J_0^{2/3}} \text{ za izpust z več odprtinami} \quad (15)$$

- Dolžina curek/glavni tok:

$$L_m = \frac{M_0^{1/2}}{u_a} \text{ za izpust z eno odprtino} \quad (16)$$

$$l_m = \frac{m_0}{u_a} \text{ za izpust z več odprtinami} \quad (17)$$

- Dolžina oblak/glavni tok:

$$L_b = \frac{J_0}{u_a^3} \quad (18)$$

- Dolžina oblak/stratifikacija:

$$L'_m = \frac{M_0^{1/4}}{\varepsilon^{1/2}} \text{ za izpust z eno odprtino} \quad (19)$$

$$l'_m = \frac{m_0^{1/3}}{\varepsilon^{1/3}} \text{ za izpust z več odprtinami,} \quad (20)$$

kjer je:

$$\varepsilon = (-g/\rho_a)(d\rho_a/dz) \quad (21)$$

ε - okoliški vzgonski pospešek

- Dolžina curek/stratifikacija:

$$L'_b = \frac{J_0^{1/4}}{\varepsilon^{3/8}} \text{ za izpust z eno odprtino} \quad (22)$$

$$l'_b = \frac{j_0^{1/3}}{\varepsilon^{1/2}} \text{ za izpust z več odprtinami} \quad (23)$$

V enačbah pomenijo oznake:

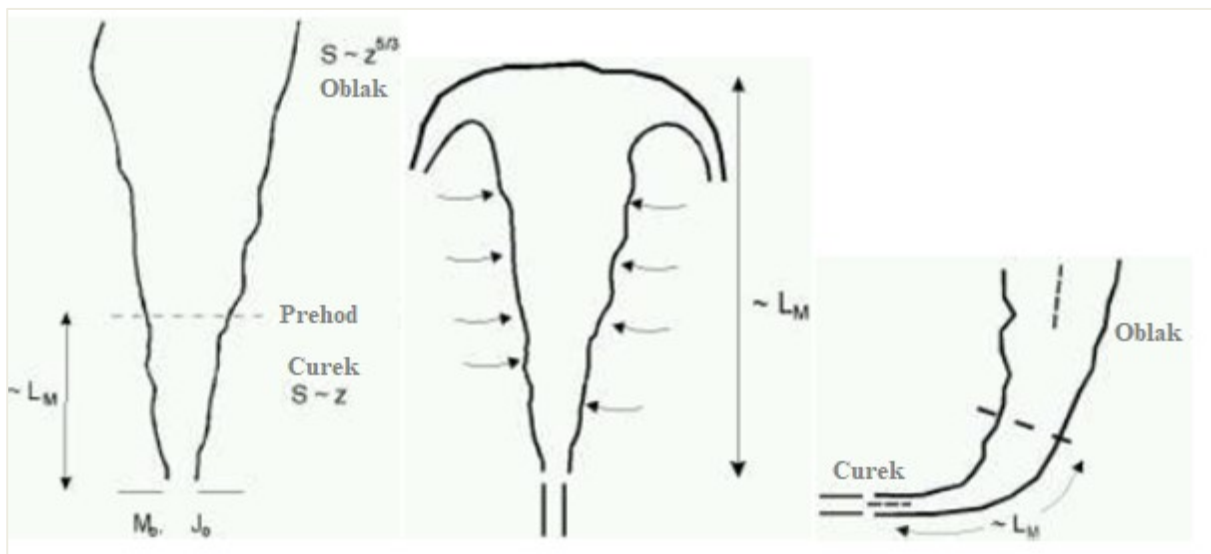
u_a - okoliški tok

M_0 - pretok gibalne količine v primeru izpusta z eno odprtino

m_0 - pretok gibalne količine v primeru izpusta z več odprtinami

J_0 - začetni vzgonski pretok v primeru izpusta z eno odprtino

j_0 - začetni vzgonski pretok v primeru izpusta z več odprtinami

Slika 18: Prehod curka v oblak na dolžini L_M

Prvotne lastnosti vira onesnaženja se uporabljajo v dimenzionalni analizi, s čimer definiramo dolžino posameznih režimov. V nadaljevanju so podane enačbe za začetne pretoke vira onesnaženja (Bleninger in Jirka, 2010):

- začetni volumski pretok

$$Q_o = U_o A_o \quad (24)$$

za izpuste z eno odprtino ali

$$q_o = Q_o / L_D \quad (25)$$

za izpuste z več odprtinami z začetno hitrostjo izpusta U_o in posameznim ali skupnim prečnim prerezom cevi A_o in dolžino difuzorja L_D

- začetni masni pretok

$$Q_{co} = U_o C_o A_o \quad (26)$$

Ali

$$q_{co} = Q_{co} / L_D \quad (27)$$

z začetno koncentracijo C_o

- pretok gibalne količine

$$M_o = U_o^2 A_o \quad (28)$$

ali

$$m_o = M_o / L_D \quad (29)$$

– in začetni vzgonski pretok

$$J_o = U_o g_o' A_o \quad (30)$$

Ali

$$j_o = J_o / L_D \quad (31)$$

z zmanjšanim pospeškom

$$g' = \Delta \rho / \rho g \quad (32)$$

in

$$\Delta \rho = \rho_o - \rho_a \quad (33)$$

z začetno gostoto izpusta ρ_o in gostoto okoliške vode ρ_a .

Izračunane lastnosti iztoka

Kalkulatorji izračunajo posamezne začetne pretoke (enačbe 24 - 31), M_o in J_o ter dolžinsko merilo L_M za enojne izpuste. Analizo izpustov z več odprtinami izdelamo v modelu CORMIX. Za nadaljnje izračunavanje lastnosti izpusta, je v kalkulatorju izpusta-RO potrebno določiti povprečen naklon morskega dna v smeri odprtega morja (θ_B slika 14), kot podvodne izpustne cevi (θ_o slika 14) in število odprtin (slika 19). Priporočljivo je, da začnemo dimenzioniranje z eno odprtino in nato postopoma povečujemo njihovo število, da dosežemo zahtevane lastnosti. Kalkulator nato samodejno izračuna premer odprtine izpustne cevi, ob predpostavljenem pretoku (z $U_o = 4-6$ m/s). Nato izračuna Froudeovo število

$$F = U / \sqrt{|g'_o| D} \quad (34)$$

in Reynoldsovo število

$$Re = \frac{U_o D}{\nu} \quad (35)$$

iz katerih sledijo značilnosti procesa mešanja izpustnega curka. Visoke vrednosti tako Froudeovega kot Reynoldsovega števila kažejo na dobre pogoje mešanja. Kalkulator vključuje tipične priporočene projektne vrednosti ($F > 10$, $Re \gg 4000$), kar omogoča enostavno iskanje ustreznih konfiguracij in hitro analizo (Bleninger in Jirka, 2010). Druga preglednica kalkulatorjev je podana na slikah 19 in 20.

Discharge Characteristics RO

- ambient characteristics

ambient density $\rho_o = 1023.02 \text{ kg/m}^3$

buoyant acceleration $g'_o = -0.04804 \text{ m/s}^2$

offshore slope $\theta_B = 10^\circ$

- effluent characteristics

flowrate $Q_o = 11.00 \text{ m}^3/\text{s}$

discharge density $\rho_o = 1028.03 \text{ kg/m}^3$

kin. viscosity $\nu_o = 1.06\text{E-}06 \text{ m}^2/\text{s}$

- discharge characteristics

Choose a discharge angle (recommended: 45°):

discharge angle $\theta_o = 45^\circ$
discharge angle as recommended!

port discharge velocity $U_o = 5.00 \text{ m/s}$

number of openings $n = 3$

port diameter $D = 0.97 \text{ m}$

dens. Froude Number $Fr_o = 23.21$

Reynolds Number $Re_o = 4.58\text{E}+06$

Checking of characteristic properties:

Diameter D : in required range, ok!

Froude Number Fr_o : in recommended range, perfect!

Reynolds Number Re_o : in required range, ok!

Choose an appropriate port diameter (DN according to ISO standard):

port diameter $D = 1.00 \text{ m}$

Final discharge characteristics:

port diameter $D = 1.00 \text{ m}$

number of openings $n = 3$

discharge angle $\theta_o = 45^\circ$

flowrate (individual) $Q_{o,ind} = 3.67 \text{ m}^3/\text{s}$

port discharge velocity $U_o = 4.67 \text{ m/s}$

dens. Froude Number $Fr_o = 21.30$

Reynolds Number $Re_o = 4.42\text{E}+06$

buoyancy flux $J_o = -0.176 \text{ m}^4/\text{s}^3$

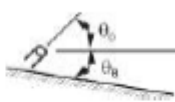
momentum flux $M_o = 17.12 \text{ m}^4/\text{s}^2$

discharge length scale $L_Q = 0.89 \text{ m}$

momentum length scale $L_M = 20.05 \text{ m}$

annotations:

$[0^\circ \leq \theta_o \leq 90^\circ]$ only integer!



$[0^\circ \leq \theta_o \leq 90^\circ]$ only integer!

recommended: $U_o = 4\text{--}6 \text{ m/s}$
start with one opening!

$Fr_o = U_o / (g'_o * D)^{1/2} = Q_o / (D^2 \pi / 4) / (g'_o * D)^{1/2}$
 $Re_o = U_o * D / \nu_o$

required:
 $0.1 \leq D \leq 1.0$
 $Fr_o \geq 10$, recommended: $Fr_o = 20\text{--}25$
 $Re_o > 4000$

$J_o = g'_o * Q_o$ (< 0 : negatively buoyant)
 $M_o = U_o * Q_o$
 $L_Q = (D^3 * \pi / 4)^{1/2} = Q_o / M_o^{1/2}$
 $L_M = M_o^{3/4} / J_o^{1/2}$

Slika 19: Preglednica kalkulatorja izpustov-RO, ki določa značilne parametre izpusta (Bleninger in Jirka, 2010)

Discharge Characteristics MSF

- ambient characteristics

ambient density $\rho_a = 1023.02 \text{ kg/m}^3$

buoyant acceleration $g'_o = 0.02351 \text{ m/s}^2$

- effluent characteristics

flowrate $Q_o = 45.51 \text{ m}^3/\text{s}$

discharge density $\rho_o = 1020.57 \text{ kg/m}^3$

kin. viscosity $\nu_o = 7.56\text{E-}07 \text{ m}^2/\text{s}$

- discharge characteristics

port discharge velocity $U_o = 5.00 \text{ m/s}$

number of openings $n = 10$

port diameter $D = 1.08 \text{ m}$

dens. Froude Number $Fr_o = 31.43$

Reynolds Number $Re_o = 7.12\text{E+}06$

Checking of characteristic properties:

Diameter D : out of range, please add openings!

Froude Number Fr_o : in required range, ok!

Reynolds Number Re_o : in required range, ok!

Choose an appropriate port diameter (DN according to ISO standard):

port diameter $D = 1.10 \text{ m}$

Final discharge characteristics:

port diameter $D = 1.10 \text{ m}$

number of openings $n = 10$

flowrate (individual) $Q_{o,ind} = 4.55 \text{ m}^3/\text{s}$

port discharge velocity $U_o = 4.79 \text{ m/s}$

dens. Froude Number $Fr_o = 29.78$

Reynolds Number $Re_o = 6.96\text{E+}06$

buoyancy flux $J_o = 0.107 \text{ m}^4/\text{s}^3$

momentum flux $M_o = 21.79 \text{ m}^4/\text{s}^2$

discharge length scale $L_Q = 0.97 \text{ m}$

momentum length scale $L_M = 30.83 \text{ m}$

annotations:

recommended: $U_o = 4\text{--}6 \text{ m/s}$

start with one opening!

$Fr_o = U_o / (|g'_o| * D)^{1/2} = Q_o / (D^2 \pi / 4) / (|g'_o| * D)^{1/2}$

$Re_o = U_o * D / \nu_o$

required:

$0.1 \leq D \leq 1.0$

$Fr_o \geq 10$, recommended: $Fr_o = 20\text{--}25$

$Re_o > 4000$

$J_o = g'_o * Q_o$ (> 0 : positively buoyant)

$M_o = U_o * Q_o$

$L_Q = (D^2 * \pi / 4)^{1/2} = Q_o / M_o^{1/2}$

$L_M = M_o^{3/4} / J_o^{1/2}$

Slika 20: Preglednica kalkulatorja izpustov-MSF, ki določa značilne parametre izpusta (Bleninger in Jirka, 2010)

2.6.3 Modeli za bližnje območje (Near-field models)

Nomogrami in enačbe iz poglavja 2.6.1 so uporabni za analizo velikostnega reda, ne pa tudi za končno načrtovanje in analizo izpustnega sistema. Za to so potrebni modeli, ki vključujejo vpliv tokov v okolici, spremembe v gostoti (npr. stratificirana vodna telesa), interakcije na mejah območja ter različne konfiguracije izpustov, vključno z uporabo večjega števila difuzorjev in površinskih izpustov (Bleninger in Jirka, 2010). Leta 2010 sta po navedbi v Bleninger in Jirka (2010) obstajala samo dva modela primerna za modeliranje izpustov slanice v bližnjem območju, vključno z negativnim vzgonskim tokom. To sta CORMIX in VisJet.

2.6.3.1 VisJet

VisJet je orodje za napoved in vizualizacijo splošnega toka in prikazuje evolucijo in interakcijo vodnih curkov iz izpustov z ene ali več odprtih pod različnimi koti šob glede na okoliške tokove. Model lahko uporabimo za preučevanje vpliva posameznega curka ali skupine curkov v tridimenzionalnem prostoru. VisJet je primeren za in preverjen na izpustih s sorazmerno majhnimi pretoki, kot so npr. izpusti odpadne vode in slanice ter ne vključuje fizičnih in dinamičnih mejnih interakcij. Zato je njegova uporaba strogo omejena na bližnje območje. (Bleninger in Jirka, 2010).

2.6.3.2 CORMIX

CORMIX je programsko orodje, ki omogoča analizo, napovedovanje in prikaz območij mešanja izpustov onesnaževal v različna vodna telesa. Vsebuje matematične modele mešanja za točkovne vtoke (izpuste) v CAD vmesniku. Poudarek je na oceni vplivov na okolje. Čeprav je glavni namen orodja napovedovanje geometrije in značilnosti redčenja v začetnem območju mešanja ter preverjanje skladnosti z omejitvami zakonodaje, ki predpisuje ustrezno kakovost vode, program napoveduje tudi obnašanje onesnaženega oblaka na večjih razdaljah (Doneker in Jirka, 2017).

CORMIX vsebuje štiri hidrodinamične modele in dve orodji za postprocesiranje (Doneker in Jirka, 2017):

1. model za izpust z eno odprtino (CORMIX1).
2. model za podvodni izpust z več odprtinami (CORMIX2).
3. model za površinski izpust (CORMIX3).
4. model za tok slanice in / ali sedimenta iz enojnega izpusta, podvodnega izpusta z več odprtinami ali površinski izpust v (stransko) neomejenem obalnem okolju (DHYDRO).
5. postprocesiranje za podrobno mešanje v bližnjem območju s podvodnim izpustom z enim ali več difuzorji v neomejenih okoljih (CorJet).
6. postprocesiranje za analizo oblaka v oddaljenem območju (FFL).

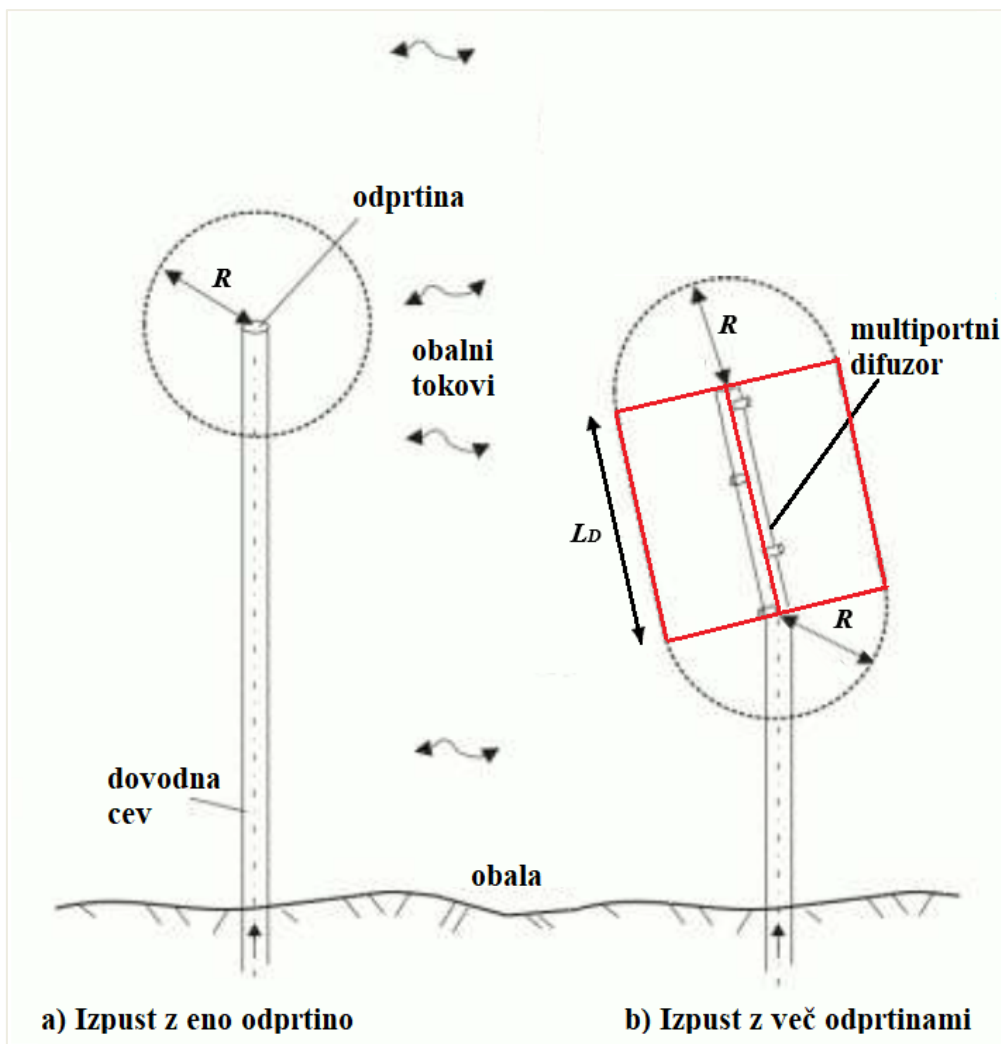
Pomanjkljivost programskega orodja CORMIX je nezmožnost simulacij nestalnega toka z lokalnimi recirkulacijskimi tokovi. Neuporaben je tudi v primeru zapletenih geometrij izpustov; takrat model svetuje uporabniku, naj ne nadaljuje z analizo. Obsežna primerjava z razpoložljivimi terenskimi in laboratorijskimi podatki je pokazala, da so v primerih, ko je model uporaben, napovedi razredčitev in koncentracij ter z njimi povezane geometrije onesnaženega oblaka v splošnem v okviru $\pm 50\%$ ali manj (standardni odklon) (Doneker in Jirka, 2017).

S programskim orodjem CORMIX je mogoče določiti koncentracijo soli v sredini curka v bližnjem območju. Rezultati vsebujejo podatke o x-y-z poziciji, razredčenju in koncentraciji v središčni liniji curka ter o širini curka. Na podlagi teh rezultatov lahko s spreminjanjem projektnih parametrov vplivamo na stopnjo razredčenja oziroma koncentracijo soli.

Eden od ciljev naloge je poiskati konfiguracijo izpusta, ki podaja najmanjšo možno površino bližnjega območja, znotraj katerega ni dosežena ustrezna stopnja razredčenja. Razredčenje S je definirano kot razmerje začetne koncentracije na mestu izpusta in koncentracije na obravnavani lokaciji.

Za izračun površine bližnjega območja smo potrebovali podatke o x-y poziciji središčne linije curka na robu bližnjega območja in koncentracijo soli oziroma razredčenje v tej isti točki $S(x,y)$ (slika 21). Iz omenjenih koordinat smo izračunali karakteristični polmer R bližnjega območja, ki ima središče na točki

izpusta/odprtine (slika 21a). V primeru izpusta z več odprtinami je površina enaka površini dveh polkrogov in dveh pravokotnikov, katerih ena stranica je enaka dolžini difuzorja in druga dolžini karakterističnega polmera (slika 21b).



Slika 21: Prikaz površin bližnjega območja za izpust z eno in več odprtinami (prirejeno po Bleninger in Jirka, 2010)

2.6.3.3 Vhodni podatki

Vhodni podatki so razvrščeni v šest skupin oziroma zavihkov/oken: opis projekta, lastnosti odpadne vode, razmere v okolici, pogoji na izpustu, definicija območja mešanja in izhodni podatki (Doneker in Jirka, 2017).

2.6.3.3.1 Opis projekta

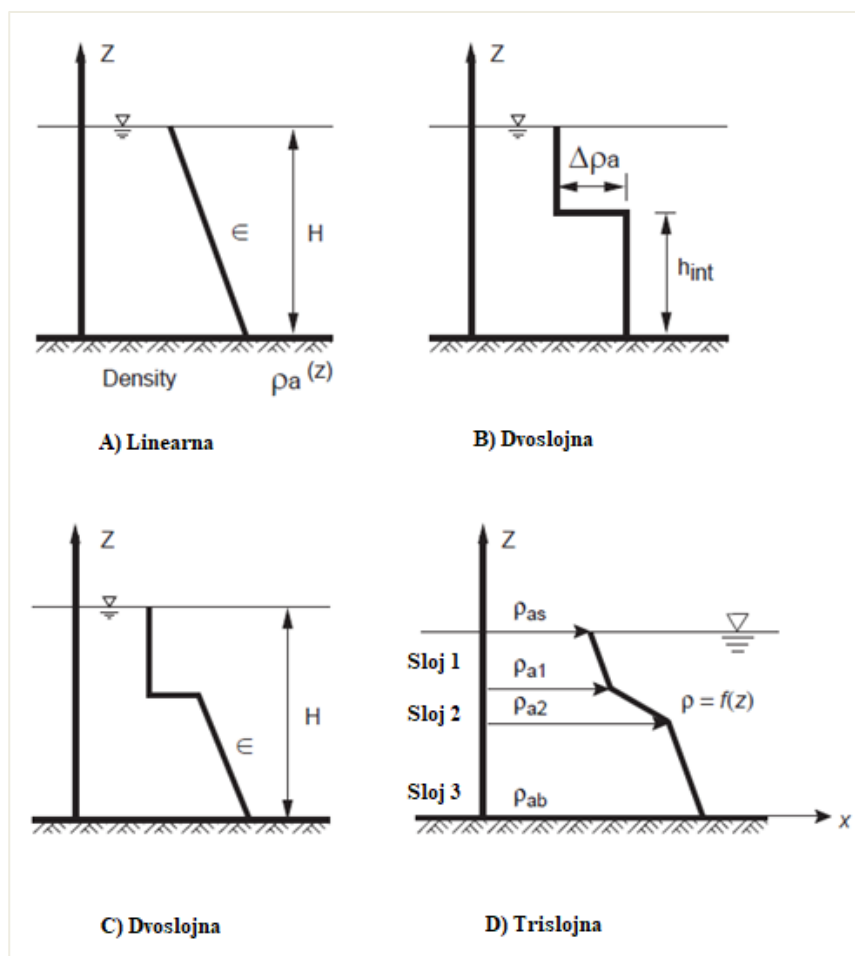
Zavihek opis projekta ne zahteva vnosa realnih podatkov, temveč le kvalitativni opis študije primera.

2.6.3.3.2 Lastnosti odpadne vode

V tem zavihku določimo vrsto onesnažila, ki ga obravnavamo. Kadar izberemo izpust slanice, je potrebno vnesti podatke za vtekajočo vodo: presežek koncentracije soli glede na okoliško vodo, pretok ali hitrost na izpustu in gostoto vode. Podatek o gostoti lahko vnesemo neposredno, ali pa vnesemo temperaturo vode in koncentracijo soli in jo program samodejno izračuna.

2.6.3.3.3 Razmere v okolici izpusta

V tem zavihku je potrebno določiti globino na mestu izpusta, hitrost vetra, hitrost okoliškega toka, naklon dna in Darcy-Weisbachov koeficient (f), ki določa hrapavost dna. Potrebno je označiti ali naj bo gostota enakomerna po celotnem vodnem stolpcu ali ne. V primeru enakomerne gostote je potrebno vnesti gostoto vode ali temperaturo in slanost. Za primer neenakomerne razporeditve gostote program zahteva, da se dejanska (merjena) vertikalna razporeditev poenostavi in določi enega od štirih tipov prikazanih na sliki 22. Tip A je linearno spreminjanje gostote po globini. Tip B je dvoslojni s konstantno gostoto in vmesnim skokom. Tip C ima konstantno gostoto v površinskem sloju in linearno spreminjanje gostote v spodnjem sloju, sloja sta med seboj ločena s skokom. Tip D je trislojni. Po izboru tipa stratifikacije je potrebno vnesti ustrezne gostote (ali temperature) in globin piknokline (*HINT*) (Doneker in Jirka, 2017).



Slika 22: Tipi stratifikacije (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)

2.6.3.3.4 Pogoji na izpustu

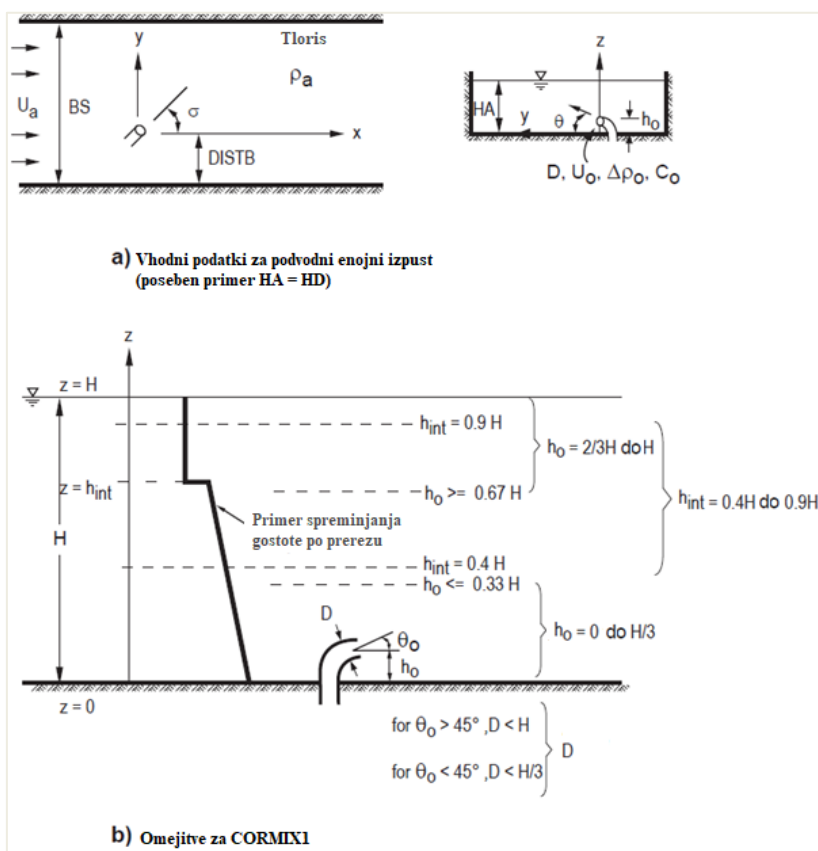
Najprej moramo določiti vrsto izpusta. Na izbiro imamo tri opcije: enojni izpust, izpust z več odprtinami in površinski izpust.

Izpust z eno odprtino

Program (CORMIX1) zahteva za določitev referenčnega koordinatnega sistema in orientacije izpusta specifikacijo šestih parametrov, ki so prikazani na sliki 23 in vključujejo: lokacijo bližjega brega/obale (levi ali desni), oddaljenost od najbližjega brega $DISTB$, premer izpustne cevi (ali površino prečnega prereza izpusta, v primeru, da slednji nima okrogle oblike), višino izpusta h_0 , vertikalni kot izpusta θ med centralno linijo izpustne cevi in horizontalno ravnino in horizontalni kot izpusta σ merjen nasproti urinega kazalca od smeri okoliškega toka U_a (x -os) do pravokotne projekcije centralne linije izpusta na horizontalno ravnino.

Z namenom, da se prepreči morebitne nepravilne aplikacije sistema, program preveri skladnost vnesenih podatkov s kriteriji, ki so prikazani na sliki 23b:

- višina izpusta h_0 ne sme presegati ene tretjine lokalne globine vode HD ,
- vrednost premera izpustne cevi ne sme presegati vrednosti HD za $\theta > 45^\circ$ in vrednosti $HD/3$ za $\theta < 45^\circ$,
- višina, kjer nastopi piknoklina $HINT$, mora biti med 40 % in 90 % HD . (Doneker in Jirka, 2017)

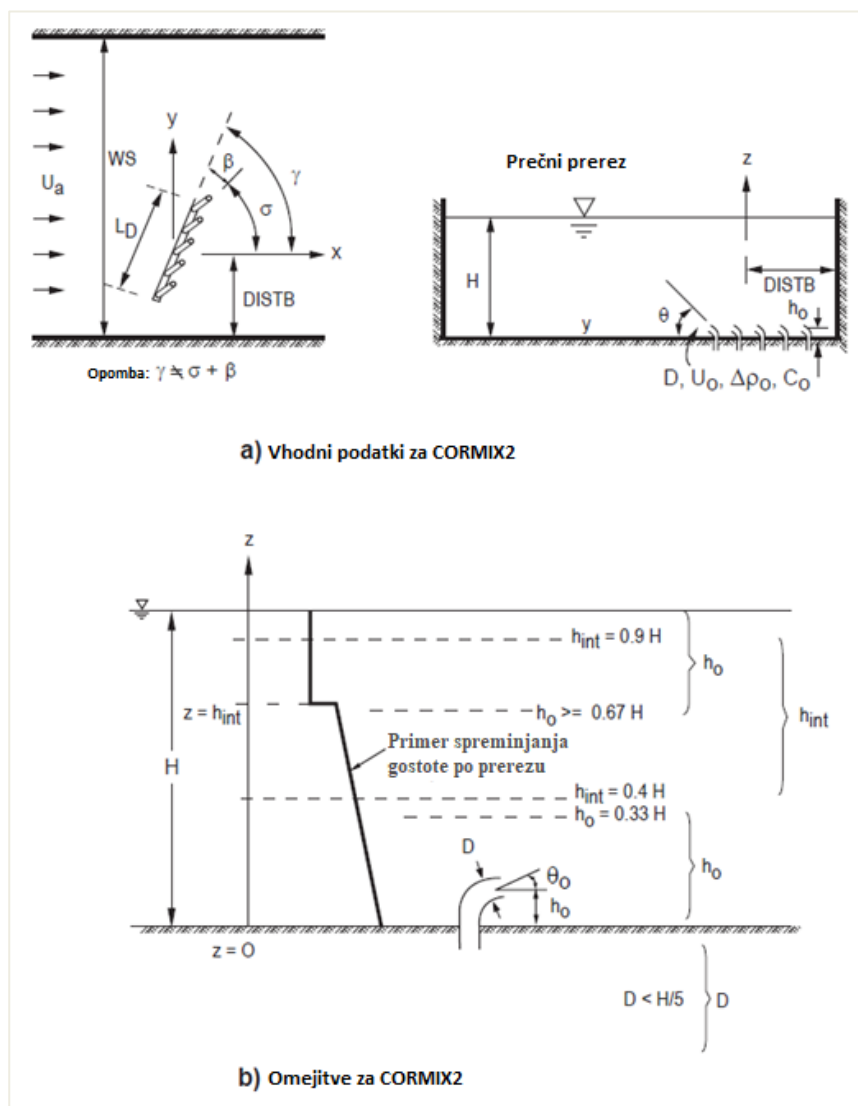


Slika 23: Grafični prikaz vhodnih podatkov za podvodni enojni izpust in omejitve (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)

Izpust z več odprtinami (multiportni difuzor)

Na sliki 24a je prikazana posplošena skica, ki prikazuje geometrijo in karakteristike okoliškega toka za tipične difuzorje. Zaradi številnih možnosti, ki se lahko pojavijo pri obliki difuzorja, je v CORMIX2 uvedenih nekaj definicij:

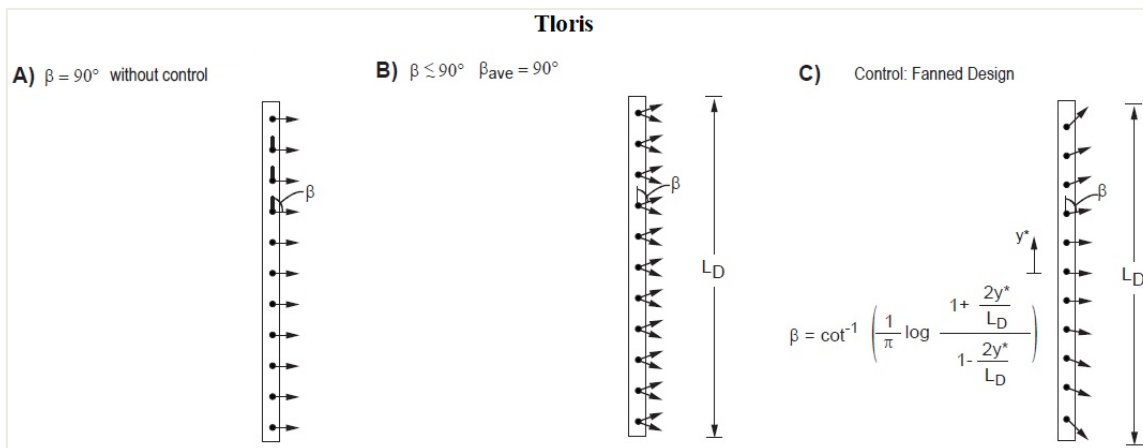
- **Multiportni difuzor** je linearna struktura, sestavljena iz bolj ali manj razmaknjenih odprtin ali šob, iz katerih brizgajo turbulentni curki z veliko hitrostjo v sprejemno vodno telo. Odprtine ali šobe so lahko navpični priključki pritrjeni na podzemno cev ali pa so preprosto odprtine v cevi, ki leži na dnu.
- **Linija difuzorja** (ali os) je črta, ki povezuje prvo odprtino/šobo in zadnjo odprtino/šobo. Na splošno linija difuzorja sovпада s povezovalno cevjo. CORMIX2 privzame ravno linijo difuzorja.
- **Dolžina difuzorja** je razdalja od prve do zadnje odprtine/šobe. Izhodišče koordinatnega sistema, ki ga uporablja CORMIX2, se nahaja na središčni (srednji) točki difuzorja. Edina izjema je, če se linija difuzorja začne na obali; potem se izhodišče nahaja neposredno na obali.



Slika 24: Grafični prikaz vhodnih podatkov za izpust z več odprtinami in omejitve (povzeto po Doneker in Jirka, 2017)

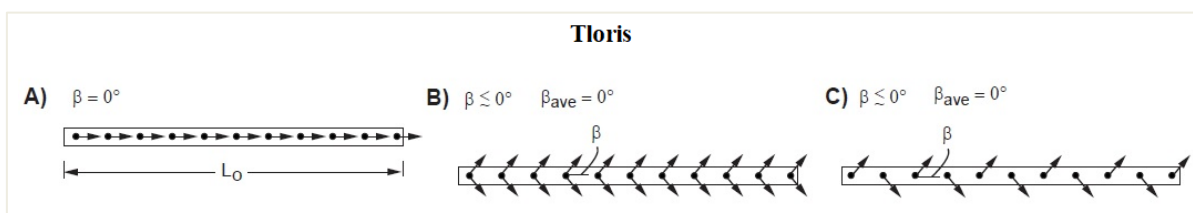
CORMIX2 lahko analizira izpuste iz treh glavnih vrst difuzorjev, ki se uporabljajo v inženirski praksi in vključujejo:

1. Enosmerni difuzor, pri katerem vse šobe kažejo na eno stran linije difuzorja in so bolj ali manj usmerjene na linijo difuzorja in bolj ali manj vodoravno (slika 25).



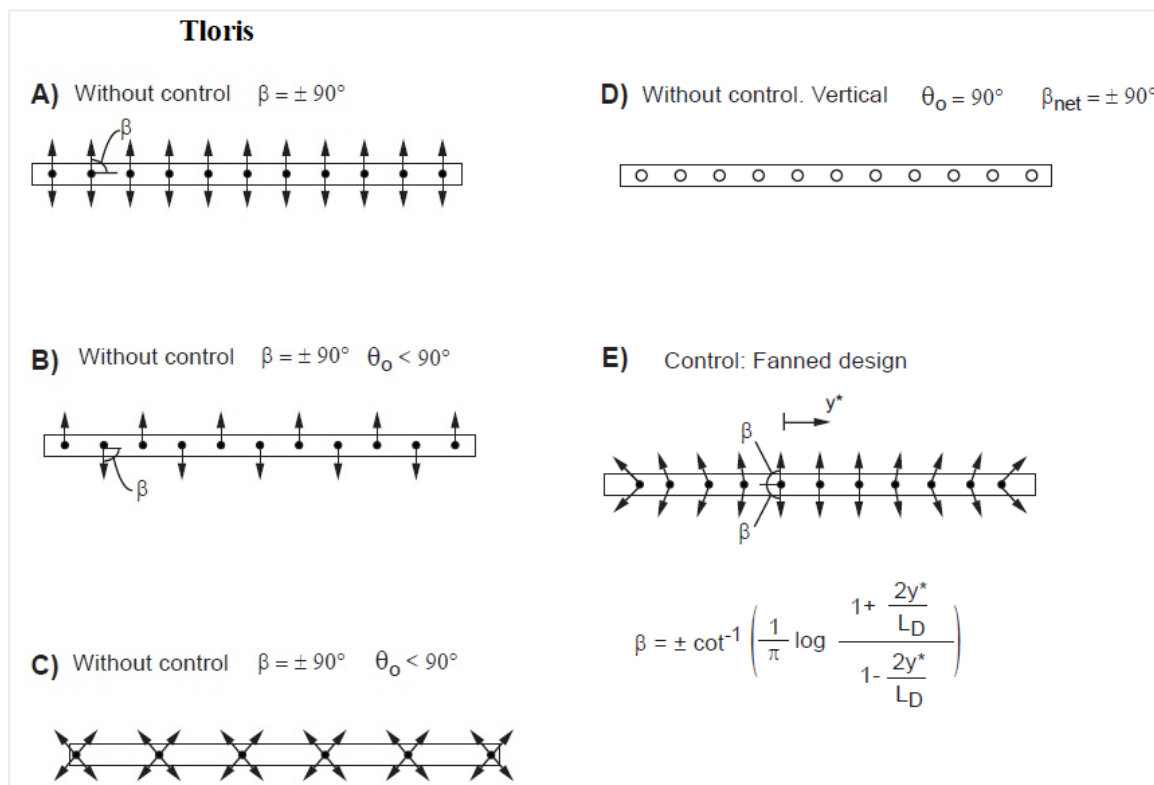
Slika 25: Primeri enosmerne difuzorjev v tlorisu. Ti difuzorji proizvajajo neto horizontalni pretok gibalne količine, ki je pravokoten na linijo difuzorja. V vseh primerih je $\gamma = 90^\circ$ (povzeto po Doneker in Jirka, 2017).

2. Stopenjski difuzor, pri katerem vse šobe kažejo v eno smer, navadno po črti difuzorja z majhnimi odstopanji na katero koli stran linije difuzorja in so usmerjene bolj ali manj vodoravno (slika 26).



Slika 26: Primeri stopenjskih difuzorjev v tlorisu. Ti difuzorji proizvajajo neto horizontalni pretok gibalne količine, vzporeden z linijo difuzorja. V vseh primerih je $\gamma = 90^\circ$ (povzeto po Doneker in Jirka, 2017).

3. Izmenični difuzor, kjer šobe niso usmerjene v eno vodoravno smer (slika 27).



Slika 27: Primeri izmeničnih difuzorjev v tlorisu. Ti difuzorji ne proizvajajo neto horizontalnega toka gibalne količine. V vseh primerih je $\gamma = 90^\circ$ V primeru D so prisotne samo vertikalne odprtine (povzeto po Doneker in Jirka, 2017).

CORMIX2 predpostavlja enotne pogoje vzdolž linije difuzorja. Kadar so vzdolž difuzorja spremenljivi, se privzamejo povprečni pogoji vzdolž difuzorja. Podobno je treba za določitev spremenljive geometrije difuzorja uporabiti srednje vrednosti.

Program (CORMIX2) zahteva za določitev referenčnega koordinatnega sistema in orientacije izpusta naslednje parametre, prikazane na sliki 24 (Doneker in Jirka, 2017):

1. Lokacija najbližjega brega (levi ali desni), kot jo vidi opazovalec, ki gleda v smeri toka.
2. Povprečna oddaljenost od najbližjega brega (*DISTB*).
3. Povprečni premer (D_0) izpustnih odprtin ali šob.
4. Potrebno kontrakcijsko razmerje za odprtine/šobe. Vrednosti se lahko gibljejo od 1 za dobro zaokrožene odprtine - običajna vrednost - do 0,6 za odprtine z ostrim robom.
5. Povprečna višina sredine odprtin (H_0) nad dnem.
6. Povprečni vertikalni kot izpusta θ med srednjo linijo izpustne cevi in horizontalno ravnino (45° in 90°).
7. Horizontalni kot izpusta σ merjen protiurno od smeri okoliškega toka U_a (x -os) do pravokotne projekcije srednje linije izpusta na horizontalno ravnino (samo pri enosmernih in stopenjskih difuzorjih)
8. Približna dolžina ravnega difuzorja (LD) med prvo in zadnjo šobo.
9. Razdalja od najbližje obale do prve in zadnje šobe ($YB1$, $YB2$) na liniji difuzorja.
10. Število šob in število šob na navpični priključek, če so ti prisotni.

11. Povprečni kot poravnave (γ), merjen protiurno od smeri okoliškega toka U_a (os x) do osi difuzorja (0° do 180°).
12. Relativni kot orientacije (θ) merjen sourni ali nasprotni smeri urinega kazalca protiurno od povprečne pravokotne projekcije srednje linije izpusta na horizontalno ravnino na najbližjo os difuzorja (0° do 90°) (samo pri enosmernih in stopenjskih difuzorjih).

Program preveri skladnost vnesenih podatkov s kriteriji, ki so prikazani na sliki 24b in prepreči nepravilno uporabo modela.

2.6.3.3.5 Definicija območja mešanja

V vmesniku mora uporabnik navesti:

1. Ali se na območju uporabljajo definicije pojmov EPA - Environmental Protection Agency za toksično razredčenje (TDZ - toxic dilution zone).
2. Ali na območju izpusta obstajajo standardi za določanje kakovosti voda.
3. Ali je definirana regulativna cona mešanja (RMZ - regulatory mixing zone).
4. Interesno prostorsko regijo (ROI - region of interest), za katero želi informacije.
5. Število lokacij (tj. » mrežni intervali«) v ROI za prikaz podrobnosti rezultatov.

Posledično je lahko potrebnih več dodatnih vnosov podatkov. Ko se uporabljajo definicije TDZ, mora uporabnik navesti vrednost največje koncentracije (CMC) in vrednost kontinuirane koncentracije (CCC), ki sta namenjeni zaščiti vodnega življa pred akutnimi in kroničnimi učinki. CORMIX preveri skladnost z:

1. CMC vrednost na robu TDZ.
2. Vrednost CMC na robu RMZ, ki določa RMZ.

Če obstaja definicija cone mešanja (RMZ), jo lahko določimo z:

1. Razdaljo od mesta izpusta.
2. Območjem prečnega prereza, ki ga zaseda oblak onesnaženja.
3. Širino oblaka onesnaženja.

Regija zanimanja (ROI), ki jo definirana s strani uporabnika kot regija, kjer je treba analizirati pogoje mešanja je določena kot največja razdalja analiziranega območja v smeri pretoka mešanih izpustov. (Doneker in Jirka, 2017)

2.6.3.3.6 Izhodni podatki

V tem oknu uporabnik določi katere izhodne podatke želi prikazati in/ali natisniti.

2.6.4 Modeli za oddaljeno območje (Far-field models)

Natančnost ocene izpusta je močno odvisna od poznavanja vodnih teles, ki predstavljajo prejemnike (recipiente). V nasprotju s presojo/oceno stanja bližnjega območja je za analizo oddaljenega območja potrebnih več podatkov o tokovih in turbulenci v okolici, še posebej za primere stratificiranih obalnih voda. (Davies in sod, 1997a, b, cit. po Bleninger in Jirka, 2010). Modeliranje v oddaljenem območju ni predmet te naloge, zato o podrobnostih ne pišemo.

3 VHODNI PODATKI ZA SIMULACIJE ŠIRJENJA SLANICE V BLIŽNJEM OBMOČJU

3.1 Potreba po vodi

Na Obali se že več desetletij ukvarjajo z reševanjem problematike pomanjkanja vode. Najpomembnejši vodni vir za oskrbo s pitno vodo je reka Rižana, katere tipična značilnost je nizka izdatnost v poletnem času. Pozimi dosega visoke pretoke, ki v primeru nizkih letnih padavin skozi leto postopoma upadajo. Z vidika vodooskrbe je bilo v zadnjem dvajsetletju najhujše leto 2012, ko je bila izdatnost Rižane zaradi nepričakovane suše pozimi vseskozi izredno nizka (Guštin, 2018).

Izdelanih je bilo že veliko študij, v katerih so proučevali različne variante za zagotovitev dodatnega vodnega vira, ki bi zagotavljal nemoteno oskrbo s pitno vodo (Kryžanowski, 2017 in tam navedeni viri). Ena od variant je tudi razsoljevanje morske vode. V predhodnih analizah je bilo ugotovljeno, da je potrebno v poletnem času, v povprečju zagotoviti 0,131 m³/s vodnih količin iz t.i. uvoza izven sistema Rižanskega vodovoda. Iz analiz je vidno, da se pri kapaciteti dodatnega vira s pretokom 131 l/s nadomesti povprečno dnevno potrošnjo, ne pa tudi konic potrošnje običajnega leta, dodatni pretok 232 l/s pa pokrije ves primanjkljaj sušnega leta 2012 in 90 % sušnega leta 2003 (Kryžanowski, 2017).

3.2 Podatki o razsoljevalni napravi

Potencialna naprava bi delovala po principu RO in naj bi imela 50 odstotni izkoristek. Glede na opravljene analize potrebne količine vode iz dodatnega vodnega vira in pričakovano rast prebivalstva (vključno s turizmom) bi bila za razsoljevalno napravo smiselna maksimalna kapaciteta proizvedene pitne vode 240 l/s. Pozimi ni potrebe po vodi iz dodatnega vira, vendar pa je ob zaustavitvi potrebno naprave tipa RO konzervirati. Zato in zaradi možnosti okvar in vzdrževalnih del bi bila racionalna modularna zasnova, ki omogoča delovanje naprave z npr. tretjino ali četrtino polne kapacitete, z moduli enakih ali različnih kapacitet.

V nalogi predpostavljamo štiri module enakih kapacitet, ki bi v času velike porabe delovali hkrati, v zimskem času pa bi deloval le en modul s kapaciteto 60 l/s. Modeliranje bomo tako izvajali na dveh primerih. Prvi primer (Primer 1) bo izpust v predpostavljenih razmerah v zimskem času, drugi primer (Primer 2) pa predstavlja izpust ob obratovanju s polno kapaciteto v poletnih mesecih.

Obstaja razmeroma velik nabor potencialnih lokacij razsoljevalne naprave, ki jih je potrebno prilagoditi obstoječi infrastrukturi in okoljskim zahtevam. Dobra izbira bi omogočila enostaven priklop na vodovodno omrežje, sočasno pa bi omogočila hitrejše mešanje slanice z okoliško vodo in manjše območje z močno povišanimi slanostmi (in koncentracijami drugih okolju škodljivih snovi). Predpostavljamo, da bi bila ustrezna dolžina izpustne cevi okrog 1000 m, na tej razdalji pa bi znašala globina okrog 18 m (naklon dna 1,8 % oz. okoli 1°).

3.3 Okoljske zahteve

Poleg močno povišanih koncentracij soli so lahko v slanici prisotne še druge kemikalije, ki se uporabljajo v postopkih predpriprave vode in za vzdrževanje naprave, njihova prisotnost pa je odvisna od tehnološkega postopka. V primeru predpriprave vode s postopkom ultrafiltracije se lahko izognemo uporabi kemikalij za čiščenje membran (Tabatabai, 2014). Ker tehnološkega postopka predpriprave vode ne poznamo, smo pri modeliranju izpusta slanice upoštevali kot edini indikator onesnaženja koncentracijo soli. Slovenska zakonodaja ne predpisuje okoljskih zahtev za slanost obalnega morja, kar

pomeni, da ni določena mejna vrednost za koncentracijo soli, ki ne sme biti prekoračena. V slovenskem morju raste pozejdonka (*Posidonia oceanica*), ki je endemit Sredozemskega morja. V Sloveniji je opredeljena kot ogrožena vrsta. Travniki pozejdonke imajo velik pomen za morski ekosistem. Skrbijo za proizvodnjo kisika in organske snovi ter nudijo življenjski prostor številnim morskim organizmom. Poleg tega pozitivno vplivajo na zmanjšanje erozije in zmanjšujejo valovanje. Pozejdonka se uvršča med organizme z nizkim pragom občutljivosti na spremembe slanosti. Pri slanosti 39,1 g/l so že opazne spremembe v rasti in razvoju, pri koncentraciji soli 40 g/l in več, pa se že pozna določena stopnja umrljivosti (UNEP/MAP, 2015). Na podlagi slednjega smo določili, da je maksimalna dovoljena slanost na robu bližnjega območja 40 psu $\approx$ 40 g/l.

3.4 Zahteve razredčenja

Razredčenje S je definirano kot razmerje začetne koncentracije na mestu izpusta in koncentracije na obravnavani lokaciji. Vrednost potrebnega razredčenja je torej odvisna od razmerja slanosti odpadne slane vode in okoljske vode. Ustrezno razredčenje bomo ugotovili z modelom CORMIX. Na podlagi preliminarne kalkulacije, ki temelji na nomogramih in poenostavljenih znanstvenih teorijah pričakujemo ob priporočeni vrednosti Froudovega števila 20-25 zahtevano razredčenje v vrednosti 20-30.

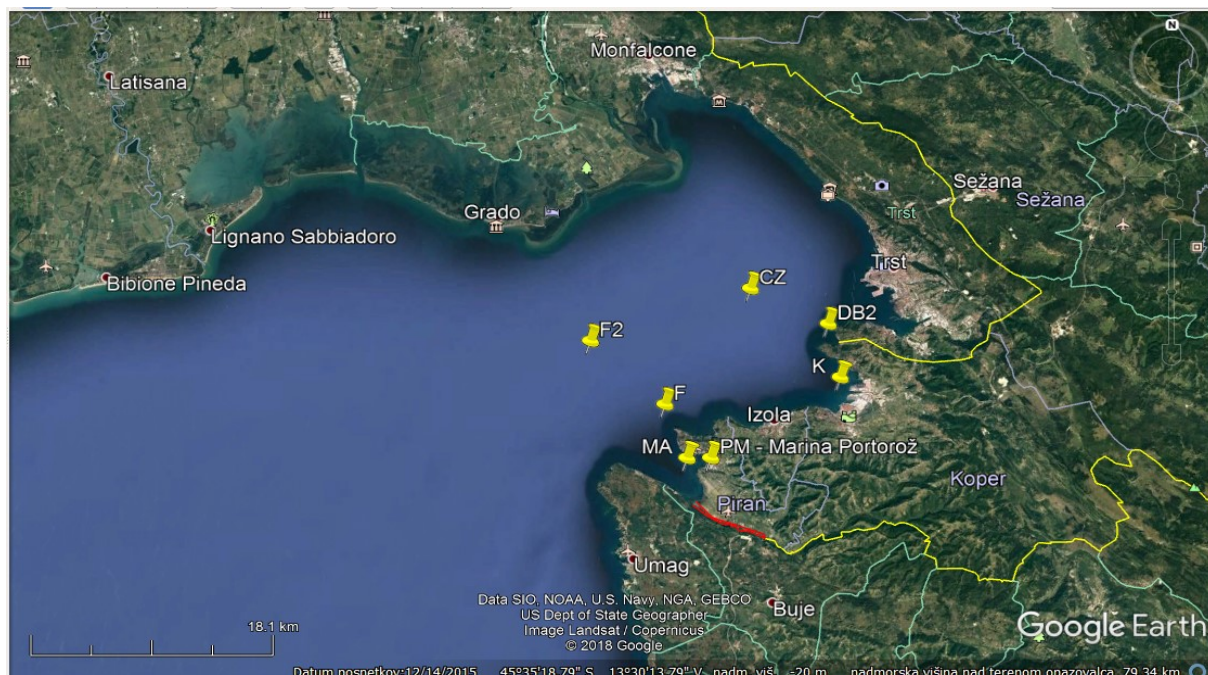
3.5 Meritve stanja (slanost, temperatura)

Podatke o slanosti in temperaturi vode smo pridobili na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (<http://www.arso.gov.si/vode/podatki/>). Podatki se nanašajo na različna merilna mesta (Slika 28 in preglednica 1). Slanost in temperatura se merita na štirih globinah, enkrat mesečno, v nizu podatkov pa manjkajo za točko K podatki za 5 mesecev leta 2015, za točko F pa podatki za leto 2012, en podatek leta 2014, 5 podatkov leta 2015 in leto 2016.

Opravili smo preprosto statistično analizo podatkov mesečnih meritev slanosti in temperature vode v točkah K in F, v obdobju med letoma 2009 in 2017. Na podlagi oddaljenosti od obale in globine morja točk K in F smo predpostavili, da se ti dve točki najbolj približata ustrezni lokaciji potencialne razsoljevalne naprave. Analiza podatkov je prikazana v preglednicah 2 in 3.

Preglednica 1: Podatki o merilnih mestih (http://www.arso.gov.si/vode/podatki/arhiv/kakovost_arhiv2017.html)

Šifra vodnega telesa	Ime vodnega telesa	Ime	Šifra postaje	Koordinat a X	Koordinat a Y
SI5VT1	VT Jadransko morje	CZ	M02050	54133	393709
SI5VT1	VT Jadransko morje	F2	M14250	49907	381500
SI5VT2	VT Morje Lazaret - Ankarjan	DB2	M19150	51254	399604
SI5VT3	MPVT Morje Koprski zaliv	K	M16050	46943	400443
SI5VT4	VT Morje Žusterna - Piran	F	M14050	44800	387132
SI5VT5	VT Morje Piranski zaliv	MA	M18050	40526	388782
SI5VT5	VT Morje Piranski zaliv	PM - Marina Portorož	M69300	41079	390562



Slika 28: Lokacija točk izvajanja meritev fizikalno kemijskih parametrov (Google Earth)

Preglednica 2: Osnovni statistični parametri mesečnih vrednosti za slanost in temperaturo vode merjenih v točki K

Mesec	Januar															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	8,99	8,90	8,86	8,64	10,85	11,55	11,61	11,67	10,18	10,31	10,28	10,26	0,61	0,78	0,90	0,98
Slanost [PSU]	35,34	36,89	37,04	37,10	38,40	38,36	38,39	38,36	37,10	37,55	37,63	37,66	0,97	0,52	0,47	0,45
Mesec	Februar															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	6,40	6,40	6,37	6,19	11,47	11,14	11,35	11,38	9,12	8,97	9,13	9,15	1,67	1,56	1,54	1,59
Slanost [PSU]	35,82	36,29	37,03	37,24	38,36	38,37	38,39	38,13	37,29	37,55	37,72	37,68	0,82	0,71	0,51	0,36
Mesec	Marec															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	8,85	8,17	7,79	7,65	12,48	12,11	11,84	11,89	10,20	9,80	9,57	9,43	1,16	1,24	1,26	1,40
Slanost [PSU]	31,03	37,01	37,10	37,17	38,02	38,25	38,28	38,29	36,42	37,60	37,67	37,72	2,41	0,41	0,40	0,38

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 2

Mesec	April															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	11,44	11,40	11,40	10,47	15,45	13,96	13,79	13,72	13,39	12,62	12,05	11,48	1,64	0,99	0,83	1,07
Slanost [PSU]	35,22	36,54	36,68	37,04	37,68	37,77	38,00	38,07	36,42	37,24	37,42	37,57	0,93	0,45	0,49	0,42
Mesec	Maj															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	14,36	13,49	12,97	12,92	21,02	19,13	18,28	16,81	17,59	16,43	15,63	14,39	2,36	2,15	2,03	1,28
Slanost [PSU]	32,79	35,66	36,06	36,17	37,67	37,90	37,94	38,01	35,55	36,69	37,08	37,28	1,75	0,79	0,61	0,59
Mesec	Junij															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	19,14	17,66	17,01	15,21	27,19	25,85	22,62	19,91	23,19	22,09	19,81	17,81	2,63	2,40	2,03	1,68
Slanost [PSU]	30,50	30,75	34,71	35,10	37,18	37,39	37,51	37,62	34,37	34,93	36,12	36,75	2,28	2,10	1,10	0,92
Mesec	Julij															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	22,37	22,39	20,01	17,32	28,14	26,53	24,27	21,42	25,42	24,72	22,17	19,52	1,85	1,44	1,72	1,48
Slanost [PSU]	32,28	33,48	34,39	36,56	36,69	36,70	37,10	38,00	35,09	35,55	36,40	37,31	1,44	1,27	0,98	0,47
Mesec	Avgust															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	22,89	22,50	21,55	18,53	27,05	26,41	24,94	23,24	24,94	24,62	23,16	21,16	1,52	1,32	1,32	1,64
Slanost [PSU]	33,61	34,21	35,28	36,79	37,42	37,54	37,64	37,95	35,80	36,11	36,77	37,46	1,39	1,26	0,85	0,41
Mesec	September															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	21,17	20,61	20,19	18,48	26,04	25,78	25,45	22,93	23,09	22,94	22,78	21,49	1,74	1,73	1,75	1,42
Slanost [PSU]	35,51	35,57	35,84	36,82	37,40	37,41	37,42	38,04	36,07	36,45	36,63	37,29	0,62	0,71	0,67	0,41

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 2

Mesec	Oktober															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	16,58	17,14	17,20	17,11	21,10	21,10	21,10	21,23	19,53	19,61	19,66	19,70	1,53	1,39	1,42	1,46
Slanost [PSU]	34,23	35,01	35,52	36,79	37,77	37,91	37,93	37,93	36,51	36,73	36,83	37,25	1,11	0,92	0,80	0,43
Mesec	November															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	14,60	14,94	14,97	15,02	17,65	18,08	18,08	18,25	15,94	16,11	16,14	16,13	1,03	1,07	1,07	1,08
Slanost [PSU]	31,39	35,10	35,62	36,00	37,82	38,05	38,11	38,19	35,98	37,07	37,19	37,26	2,11	0,88	0,74	0,63
Mesec	December															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6	0,5	5	10	15,6
Temperatura vode [°C]	10,98	10,99	10,77	10,28	15,00	14,73	14,72	14,73	12,70	12,77	12,77	12,80	1,30	1,22	1,27	1,45
Slanost [PSU]	36,13	36,67	36,76	36,91	37,83	37,85	37,83	37,78	36,82	37,33	37,37	37,39	0,64	0,36	0,35	0,30

Preglednica 3: Osnovni statistični parametri mesečnih vrednosti za slanost in temperaturo vode merjenih v točki F

Mesec	Januar															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	8,82	9,21	9,38	8,08	10,80	11,70	11,79	12,02	9,98	10,63	10,88	10,63	0,74	0,77	0,80	1,26
Slanost [PSU]	31,97	36,97	37,16	37,16	38,15	38,13	38,20	38,23	36,20	37,46	37,62	37,66	2,04	0,49	0,41	0,40
Mesec	Februar															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	8,76	8,87	9,34	8,89	11,38	11,46	11,23	11,35	9,72	9,86	9,97	9,91	0,97	0,89	0,73	0,87
Slanost [PSU]	36,66	36,79	37,22	37,33	38,20	38,20	38,20	38,20	37,45	37,55	37,75	37,79	0,55	0,52	0,43	0,38
Mesec	Marec															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	8,89	9,01	8,99	8,74	12,43	12,06	12,41	12,79	10,13	10,17	10,15	10,08	1,21	1,17	1,35	1,46
Slanost [PSU]	36,32	37,09	37,27	37,49	37,61	38,08	38,13	38,11	37,13	37,45	37,65	37,76	0,45	0,37	0,30	0,21

se nadaljuje ...

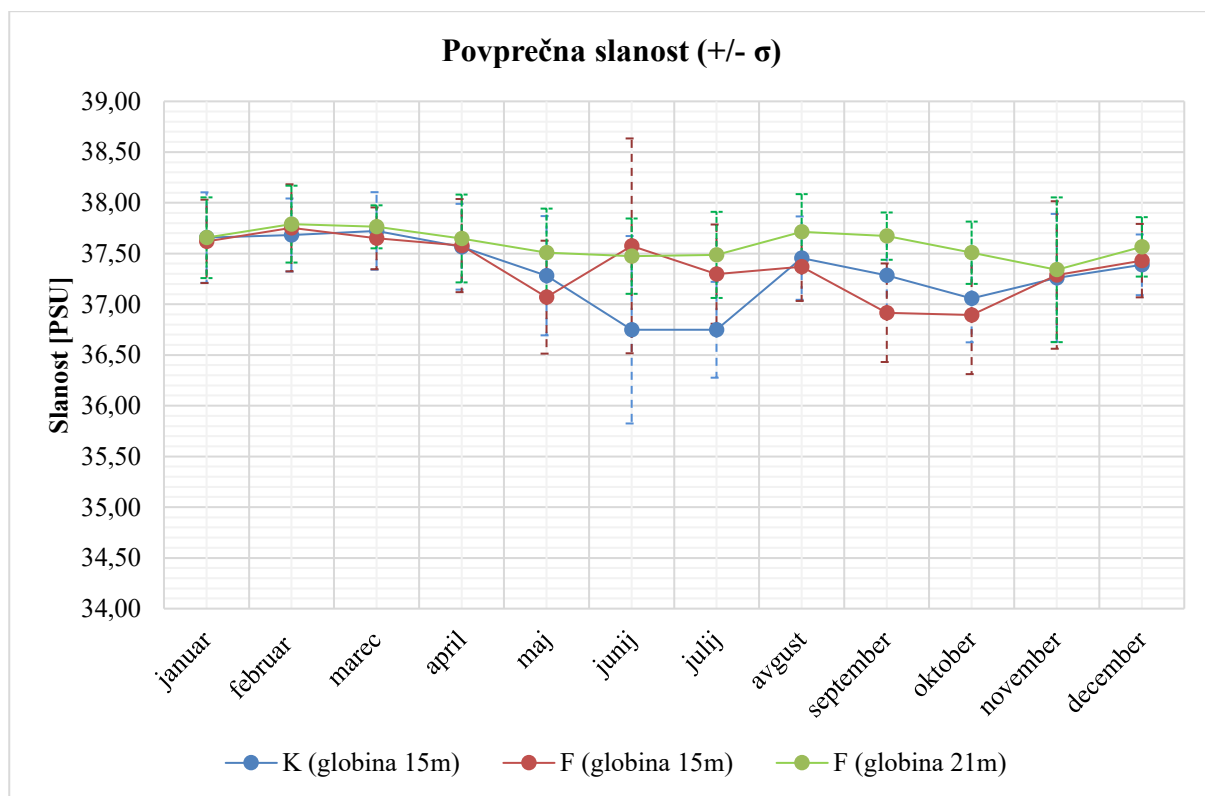
... nadaljevanje Preglednice 3

Mesec	April															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	11,6 2	11,5 9	10,4 1	10,1 2	15,3 1	14,4 4	13,9 2	13,7 9	13,4 6	13,0 3	11,8 0	11,5 1	1,5 7	1,2 2	1,0 7	1,1 4
Slanost [PSU]	35,0 9	36,3 7	37,0 6	37,1 0	37,9 1	37,9 8	38,1 9	38,2 1	36,7 5	37,1 5	37,5 8	37,6 5	0,9 6	0,6 2	0,4 6	0,4 3
Mesec	Maj															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	15,5 7	15,5 2	13,4 9	12,0 0	19,2 0	19,0 1	17,7 0	14,7 2	17,6 2	17,0 6	15,3 7	12,8 0	1,4 4	1,6 3	1,7 3	1,0 3
Slanost [PSU]	32,3 9	35,6 6	36,0 8	37,1 3	36,5 6	36,8 6	37,7 7	37,8 7	35,0 7	36,2 9	37,0 7	37,5 1	1,6 4	0,4 5	0,5 6	0,2 8
Mesec	Junij															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	20,3 0	19,3 2	15,4 2	14,3 6	26,1 3	25,4 7	19,8 6	17,0 4	23,1 2	22,3 2	17,9 4	15,9 0	2,2 0	2,0 1	1,5 5	0,9 5
Slanost [PSU]	29,6 8	30,5 1	36,1 4	36,8 0	37,2 8	37,4 6	39,6 0	37,9 2	34,0 1	34,8 6	37,5 8	37,4 7	2,6 8	2,3 9	1,0 6	0,3 7
Mesec	Julij															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	24,4 6	20,1 6	16,0 8	16,1 5	28,0 9	26,5 5	22,3 1	18,8 9	25,7 4	24,6 2	19,7 0	17,8 3	1,2 8	2,1 3	2,1 7	1,1 0
Slanost [PSU]	30,5 7	33,5 0	36,5 4	36,7 3	35,9 4	36,3 3	38,0 9	38,0 1	34,5 6	35,2 1	37,3 0	37,4 9	1,8 6	1,0 1	0,4 9	0,4 2
Mesec	Avgust															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	23,0 3	22,9 1	19,2 6	17,5 5	25,9 2	25,8 3	23,6 2	21,1 4	24,6 7	24,6 0	21,2 6	19,3 9	0,9 6	0,9 4	1,5 2	1,1 6
Slanost [PSU]	34,1 6	34,1 7	37,0 2	37,1 3	37,3 5	37,3 8	37,8 3	38,3 7	35,7 4	35,8 2	37,3 7	37,7 1	1,2 2	1,1 6	0,3 4	0,3 7
Mesec	September															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	21,6 6	21,3 5	18,7 3	17,0 1	25,9 7	25,9 4	23,5 8	20,9 7	23,0 9	23,0 3	21,8 9	19,3 8	1,5 8	1,6 3	1,7 1	1,4 6
Slanost [PSU]	33,3 8	34,6 8	36,1 1	37,2 4	37,0 7	37,0 7	37,6 0	37,8 9	35,9 0	36,1 7	36,9 2	37,6 7	1,3 2	0,8 7	0,4 9	0,2 3
Mesec	Oktober															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	17,4 7	17,4 8	17,6 8	17,0 6	21,0 3	21,0 6	21,1 4	20,8 5	19,5 4	19,5 4	19,6 0	19,1 9	1,2 3	1,2 4	1,2 9	1,2 7
Slanost [PSU]	35,4 3	35,4 3	36,1 8	37,0 9	37,9 2	37,9 3	37,9 2	37,9 2	36,5 3	36,5 5	36,8 9	37,5 1	0,8 3	0,8 3	0,5 8	0,3 1

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 3

Mesec	November															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	14,5	15,1	15,7	15,7	17,4	17,9	18,2	18,3	16,0	16,2	16,4	16,4	0,9	1,0	0,9	1,0
Slanost [PSU]	31,8	34,9	36,1	36,1	38,4	38,4	38,4	38,4	36,4	37,0	37,2	37,3	2,2	1,0	0,7	0,7
	9	8	2	5	3	3	3	3	0	5	9	4	2	9	3	1
Mesec	December															
Statistični parameter	Minimum				Maksimum				Povprečna vrednost				Standardna deviacija			
Globina zajema vzorca [m]	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21	0,5	5	15	21
Temperatura vode [°C]	12,0	12,0	11,4	11,2	15,2	15,2	15,2	15,2	13,0	13,1	13,1	13,4	1,1	1,1	1,3	1,4
Slanost [PSU]	35,8	36,1	36,6	37,1	37,6	37,6	37,7	37,8	37,2	37,3	37,4	37,5	0,6	0,5	0,3	0,2
	7	8	8	0	5	5	8	8	8	2	3	7	3	2	6	9



Grafikon 1: Grafični prikaz povprečnih mesečnih vrednosti slanosti s standardnimi odkloni

Iz grafikona 1 lahko razberemo, da so najvišje povprečne mesečne slanosti v točki F na največji globini zajema vzorca, ki znaša 21 metrov. Tam povprečna slanost tudi najmanj niha. Na globini 15 metrov so slanosti v toplejši polovici leta znatno nižje v obeh merskih točkah.

Za simulacije izpusta slanice z modelom Cormix privzamemo najbolj neugodne razmere, torej najvišje povprečne slanosti (v točki F na globini 21 metrov) z dodano standardno deviacijo. Takšne razmere dopuščajo najmanjši pribitek slanosti, pri določanju velikosti območja mešanja, kjer slanost presega 40 psu, pa smo na varni strani (Preglednica 4). Dodatna prednost točke F je, da je blizu oceanografske boje Vida, kjer so na voljo številni oceanografski in okoljski podatki merjeni z visoko frekvenco (temperatura, slanost, tokovi in količini raztopljenega kisika).

Določili smo kritični zimski in poletni mesec. Kot smo že omenili, se najbolj neugodne razmere oziroma najvišja slanost pojavi poleti v mesecu avgustu. Avgust je tudi mesec, ko je poraba vode največja (vrhunec turistične sezone), reka Rižana pa ima običajno najnižji vodostaj. V zimskem času je kritični mesec februar, ki ima absolutno najvišjo povprečno slanost. Pri računanju smo torej upoštevali povprečne mesečne slanosti s prištevkem standardnega odklona (Preglednica 4) in povprečne mesečne podatke o temperaturi za račun gostote v modelu Cormix, Preglednica 5).

Preglednica 4: Slanost v kritičnih mesecih

Fizikalni parameter	Slanost [PSU]		
Statistični parameter	Povprečna vrednost	Standardna deviacija	Povprečna vrednost + Standardna deviacija
Februar	37,79	0,38	38,17
Avgust	37,71	0,37	38,09

Preglednica 5: Temperatura vode v kritičnih mesecih

Fizikalni parameter	Temperatura [°C]
Statistični parameter	Povprečna vrednost
Februar	9,91
Avgust	19,39

3.6 Tokovi

Podatke o tokovih nam je posredoval Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja Piran. Tokove neprekinjeno meri boja Vida (<https://www.nib.si/mbp/sl/oceanografski-podatki/buoy-2/general-2>). Podatki so izpisani kot povprečna vrednost po komponent v smeri vzhod in sever v polurnih intervalih. Tokovi se merijo v 22 točkah, na vsak meter globine. Iz merjenih podatkov med letoma 2011 in 2016 smo izračunali povprečne mesečne absolutne vrednosti hitrosti (skalarni vrednosti) po celotnem vodnem stolpcu in v pridnenem sloju debeline štirih metrov za meseca februar in avgust. Hitrosti tokov so najmanjše v bližini dna in največje ob gladini, kar pomeni, da so povprečne hitrosti po celotnem vodnem stolpcu višje v primerjavi s hitrostmi na večjih globinah. Izbira razdalje štirih metrov je pogojena s povprečno maksimalno višino, ki jo doseže curek slanice. Podatki povprečnih absolutnih hitrosti za februar in avgust so podani v preglednici 6.

Preglednica 6: Absolutne hitrosti okoliškega toka v obravnavanih mesecih

	Višina vodnega stolpca (merjena od dna)			
	4 m		22 m	
Mesec	Februar	Avgust	Februar	Avgust
Absolutna (skalarna) hitrost toka [cm/s]	8,03	8,68	12,48	15,54

3.7 Podatki za Primer 1 – izpust 60 l/s

V preglednici 7 so prikazani podatki o lastnostih slanice. V preglednici 8 so prikazane razmere v okolici izpusta. Ker želimo izvesti simulacijo kritičnih razmer, smo predpostavili majhno oziroma zanemarljivo hitrost vetra (1m/s). Vse račune smo izvedli s merjenimi hitrostmi na boji. Pri računanju smo upoštevali, da je gostota enakomerno razporejena po prerezu, saj so to v zimskem času pričakovane razmere.

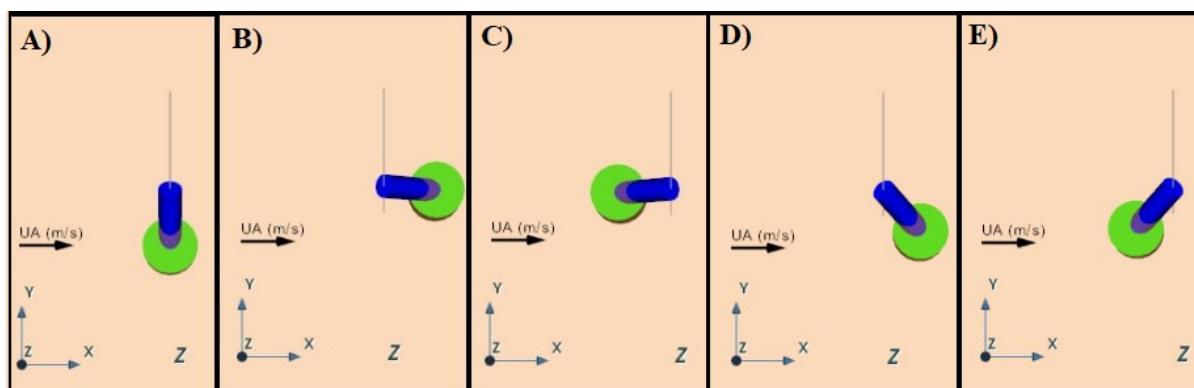
Preglednica 7: Primer 1 - lastnosti slanice

Lastnosti slanice	
Temperatura	9,91 (10) °C
Koncentracija soli	76,34 g/l
Gostota	1059,04 kg/m ³
Pretok	0,06 m ³ /s

Preglednica 8: Primer 1 - razmere v okolici izpusta

Vhodni podatek	
Globina na izpustu	18 m
Hitrost vetra	1 m/s
Hitrost okoliškega toka	0,08 m/s
	0,125 m/s
Naklon dna	1,085°
Darcy-Weisbachov koeficient (f)	0,02
Temperatura vode	9,91 (10)°C
Koncentracija soli	38,17 g/l
Gostota vode	1029,5 kg/m ³

V preglednici 9 so prikazani podatki izpusta, ki smo jih uporabili pri računanju. Račune smo izvedli s petimi tipi konfiguracij izpusta, ki smo jih poimenovali z oznakami A, B, C, D in E (slika 29). V vseh primerih gre za izpuste z enim vertikalnim priključkom z eno odprtino, kot priporoča Kalkulator izpusta RO za pretok 60 l/s. Tip A predstavlja izpust z eno šobo, ki kaže v smeri osi izpustne cevi ($\sigma = 90^\circ$), pri tipu B je šoba usmerjena v nasprotno smer smeri okoliškega toka ($\sigma = 180^\circ$), pri tipu C kaže šoba v smer okoliškega toka pod pravim kotom glede na centralno os izpustne cevi ($\sigma = 0^\circ$). Pri tipih D in E je šoba odklonjena pod kotom 45° od centralne linije izpustne cevi. Pri tipu D kaže v levo ($\sigma = 135^\circ$), pri tipu E v desno ($\sigma = 45^\circ$). Za vsak tip izpusta smo pognali model za različne scenarije, pri katerih smo upoštevali različne premere odprtine in vrednosti vertikalnega kota θ .



Slika 29: Tipi konfiguracij izpusta za Primer 1

Preglednica 9: Primer 1 - vhodni podatki izpusta

Enojni izpust	
Lokacija najbližjega brega	desni
Oddaljenost od najbližjega brega/obale <i>DISTB</i>	1000 m
Višina vertikalnega priključka h_0	0,3 m
Premer odprtine	0,13 m
	0,14 m
Vertikalni kot θ	45°
	60°
Horizontalni kot σ	0°
	45°
	90°
	135°
	180°

3.8 Podatki za Primer 2 – izpust 240 l/s

V preglednici 10 so prikazani podatki o lastnostih slanice, v preglednici 11 pa podatki o okoliških razmerah. Zaradi predpostavke o kritičnih razmerah z malo mešanja smo ponovno predpostavili majhno oziroma zanemarljivo hitrost vetra (1 m/s). Vse račune smo izvedli pri obeh hitrostih okoliškega toka izračunanih iz merjenih podatkov na boji. Pri računanju smo upoštevali enakomerno gostoto po vodnem stolpcu.

Preglednica 10: Primer 2 - lastnosti slanice

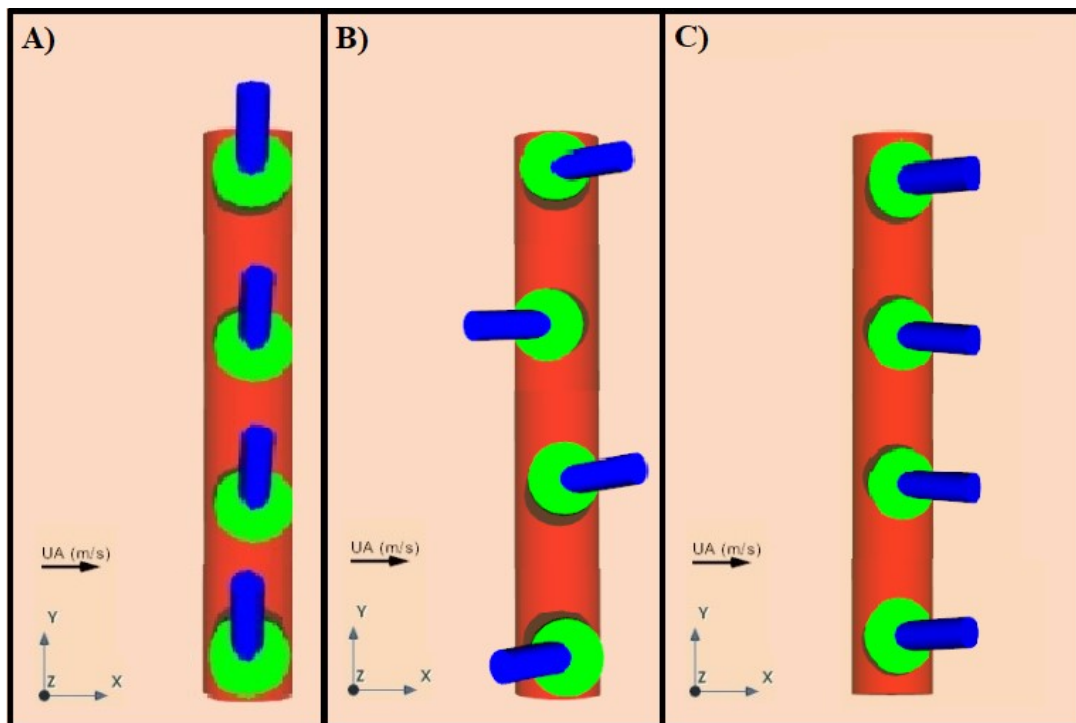
Lastnosti slanice	
Temperatura	19,39 °C
Koncentracija soli	76,18 g/l
Gostota	1056,165 kg/m ³
Pretok	0,24 m ³ /s

Preglednica 11: Primer 2 - razmere v okolici izpusta

Vhodni podatek	
Globina na izpustu	18 m
Hitrost vetra	1 m/s
Hitrost okoliškega toka	0,087 m/s
	0,155 m/s
Naklon dna	1,085°
Darcy-Weisbachov koeficient (f)	0,02
Temperatura vode	19,39°C
Koncentracija soli	38,09 g/l
Gostota vode	1027,03 kg/m ³

V preglednici 12 so prikazani podatki izpusta, ki smo bili uporabili pri računanju. Račune smo izvedli s tremi tipi konfiguracije izpusta, ki smo jih poimenovali z oznakami A, B in C (slika 30). V vseh primerih smo uporabili difuzor dolžine 100 m s štirimi odprtinami/šobami, kot priporoča Kalkulator izpusta RO za pretok 240 l/s. Tip A predstavlja stopenjski difuzor s šobami, ki kažejo v smer linije difuzorja ($\theta = 0^\circ$), tip B predstavlja izmenični difuzor, kjer dve šobi kažeta v levo in dve v desno smer ($\theta = 90^\circ$), pri

tipu C pa gre za enosmerni difuzor, pri katerem vse šobe kažejo na eno stran linije difuzorja ($\theta = 90^\circ$). Za vsak tip konfiguracije smo pognali model za različne scenarije, pri katerih smo upoštevali različne premere odprtine in vrednosti vertikalnega kota θ .



Slika 30: Tipi konfiguracij izpusta za Primer 2

Preglednica 12: Primer 2 - vhodni podatki izpusta

Multiportni difuzor	
Lokacija najbližjega brega	desni
Dolžina difuzorja	100 m
Razdalja od najbližje obale do prve šobe (YB1)	900 m
Razdalja od najbližje obale do zadnje šobe (YB2)	1000 m
Višina vertikalnega priključka $H0$	0,3 m
Premer odprtine	0,13 m
	0,14 m
Kontrakcijsko razmerje za odprtine	1
Skupno število odprtin	4
Kot poravnave (γ)	90°
Število odprtin na vertikalni priključek	1
Vrste difuzorja	Enosmerni
	Stopenjski
	Izmenični
Vertikalni kot θ	45°
	60°
Horizontalni kot σ	90°
	0°
Relativni kot orientacije (θ)	0°
	90°

4 REZULTATI

4.1 Preliminarni račun redčenja slanice s kalkulatorjem izpusta-RO

S kalkulatorjem izpusta-RO smo izračunali fizikalne in kemične lastnosti iztoka na izstopni točki in okoliške vode. Kalkulator izpusta in enačbe so opisani v Poglavju 2.6.2. Račun smo izvedli za oba primera izpusta (Primer 1 in 2) z različnimi nakloni šobe. Rezultati so prikazani v preglednicah 13 in 14.

Preglednica 13: Izračun koncentracije soli s Kalkulatorjem izpusta-RO v zimskem času (Primer 1 - izpust 60 l/s)

Lastnosti vode	Zajem	Odpadna slanica	
Temperatura [°C]	10	10	
Koncentracija soli [g/l]	38,35	76,69	
Gostota [kg/m³]	1029,63	1059,32	
Pretok [m³/s]	0,12	0,06	
Vzgonski pospešek [m/s²]		-0,28284	
Kinematična viskoznost [m²/s]	1,35E-06	1,44E-06	
Karakteristike izpusta			
Pretok [m³/s]	0,06		
Premer izpusta [m]	0,12		
Višina šobe [m]	0,5		
Število lukenj/šob	1		
Naklon dna [°]	1		
Izstopna hitrost [m/s]	5,31		
Geometrijske lastnosti curka			
M ₀ [m⁴/s²]	0,32		
J ₀ [m⁴/s³]	-0,017		
L _Q [m]	0,11		
L _M [m]	3,25		
Fr ₀	28,8		
Re ₀	4,42E+05		
Oblika curka v odvisnosti od naklona šobe			
Kot θ ₀ [°]	30	45	60
z _{max} [m]	2,47	3,94	5,29
x _{max} [m]	5,18	5,22	4,35
z _i [m]	-2,28	-2,24	-1,91
x _i [m]	10,08	9,88	8,01
Razredčenje v odvisnosti od naklona šobe			
Kot θ ₀ [°]	Sm (v sredini curka v z _{max})	Si (v sredini curka v točki stika z dnom)	
30	7,9	26,2	
45	8,3	31,4	
60	8	34,1	
Teoretična koncentracija soli v točki stika z dnom			
Kot θ ₀ [°]	Teoretična koncentracija soli v točki stika z dnom [g/l]		
30	39,81		

45	39,57
60	39,47

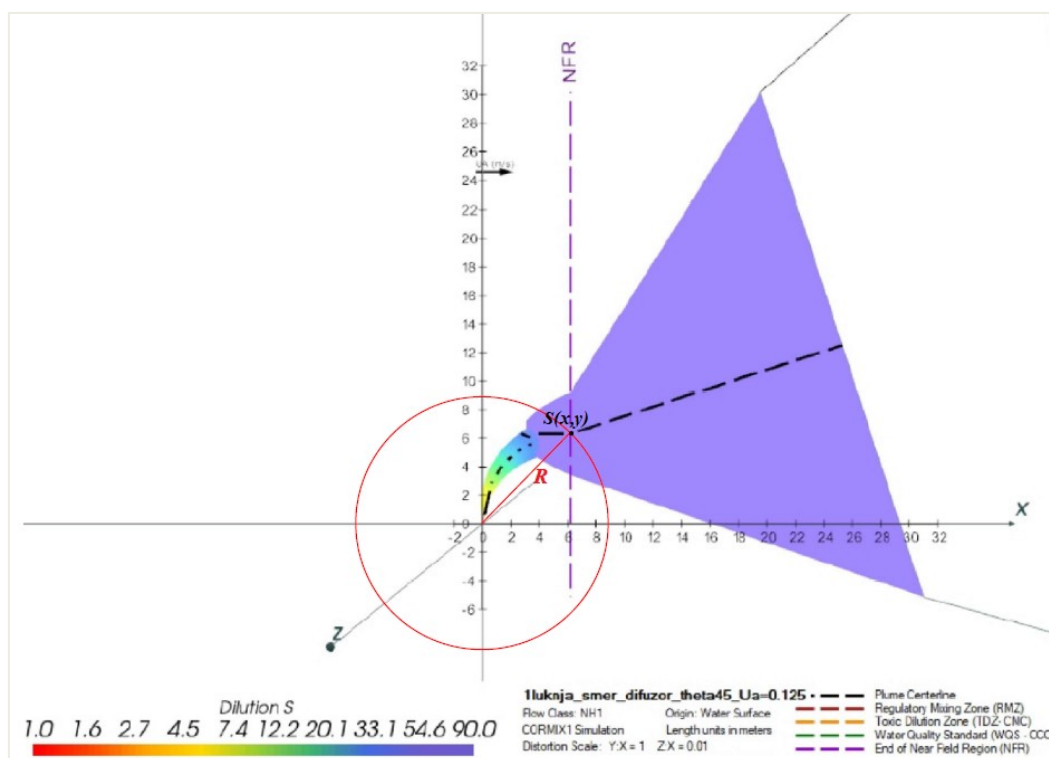
Preglednica 14: Izračun koncentracije soli s Kalkulatorjem izpusta-RO v poletnem času (Primer 2-izpust z štirimi odprtinami)

Lastnosti vode	Zajem	Odpadna slanica	
Temperatura [°C]	19,39	19,39	
Koncentracija soli [g/l]	38,27	76,54	
Gostota [kg/m³]	1027,17	1056,44	
Pretok [m3/s]	0,48	0,24	
Vzgonski pospešek [m/s²]		-0,27954	
Kinematična viskoznost [m²/s]	1,07E-06	1,14E-06	
Značilnosti izpusta			
Pretok [m³/s]		0,24	
Premer izpusta [m]		0,12	
Višina šobe [m]		0,5	
Število lukenj/šob		4	
Naklon dna [°]		1	
Izstopna hitrost [m/s]		5,31	
Geometrijske lastnosti curka (nanašajoče na eno odprtino)			
M ₀ [m⁴/s²]		0,32	
J ₀ [m⁴/s³]		-0,017	
L _Q [m]		0,11	
L _M [m]		3,27	
Fr ₀		28,97	
Re ₀		5,57E+05	
Oblika curka v odvisnosti od naklona šobe			
Kot θ ₀ [°]	30	45	60
z _{max} [m]	2,48	3,96	5,32
x _{max} [m]	5,21	5,25	4,37
z _i [m]	-2,29	-2,25	-1,92
xi [m]	10,14	9,94	8,06
Razredčenje v odvisnosti od naklona šobe			
Kot θ ₀ [°]	Sm (v sredini curka v z _{max})	Si (v sredini curka v točki stika z dnom)	
30	7,9	26,4	
45	8,3	31,6	
60	8	34,3	
Teoretična koncentracija soli v točki stika z dnom			
Kot θ ₀ [°]	Teoretična koncentracija soli v točki stika z dnom [g/l]		
30	39,71		
45	39,48		
60	39,38		

Iz rezultatov je razvidno, da sta v obeh primerih razdalja x_i , pri kateri curek doseže dno najmanjša, in stopnja redčenja S_i največja pri naklonu šobe 60°. Kalkulator je samodejno izračunal premer odprtine izpustne cevi na podlagi pretoka in ob predpostavki izstopne hitrosti $U_o = 4-6$ m/s. V obeh primerih premer odprtine znaša 0,12 m. Kalkulator ne upošteva številnih dejavnikov (npr. morskih tokov in difuzije), zato so rezultati zgolj orientacijski. Podrobnejši račun smo zato izvedli z modelom CORMIX.

4.2 Rezultati simulacij z modelom Cormix

V nadaljevanju je prikazan račun površine bližnjega območja za izpust odpadne slanice v primeru postavitve razsoljevalne naprave v slovenskem morju. Praviloma bližnje območje predstavlja volumen vode, ki je odvisen od globine vode in višine curka ali globine piknokline v primeru stratifikacije. Kljub mešanju pa slanica zaradi višje gostote polagoma tone in pristane na dnu, kjer se hkrati nahaja največje število morskih organizmov, zato je za ovrednotenje vpliva na okolje merodajna površina bližnjega območja. Ob znani batimetriji je mogoče določiti še smer gibanja po dnu in depresije, kjer bi se slanica lahko zadrževala daljši čas.



Slika 31: Tloris bližnjega območja na primeru izpusta z eno odprtino

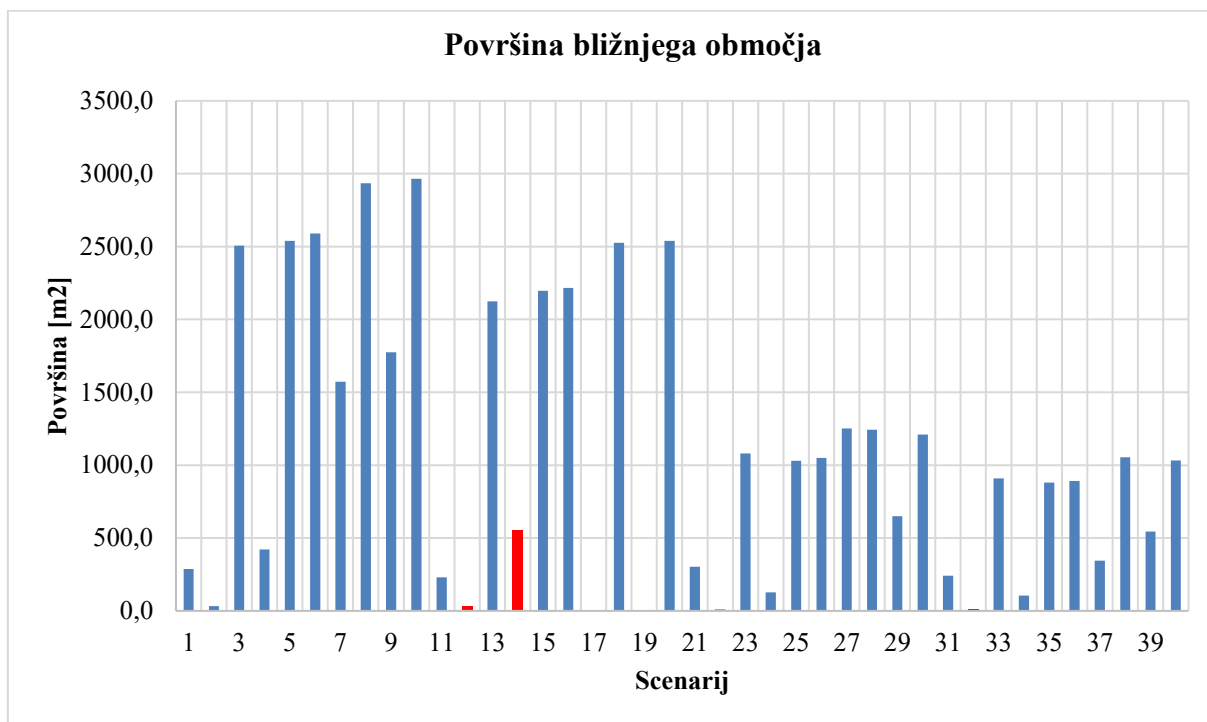
4.2.1 Primer 1 – izpust z eno odprtino

Rezultati simulacij so prikazani v preglednici 15. Koncentracija soli je podana kot pribitek koncentracije ΔC glede na koncentracijo soli okoliške vode. Za izpolnitev pogoja razredčenja (koncentracijo < 40 g/l) je potrebno razredčenje v vrednosti najmanj 20,85 oziroma ΔC ne sme presegati vrednosti 1,83 g/l. Primeri, ki ne izpolnjujejo pogoja so obarvani rdeče. Prazne celice pomenijo, da model ni pognal simulacije, ker je bila izbrana neprimerna konfiguracija in/ali geometrija izpusta, ki je povzročila procese mešanja, ki jih Cormix ne zmore simulirati. Sprva smo opravili simulacije z več različnimi premeri odprtin, vendar se je izkazalo, da sta premera 13 in 14 cm najprimernejša. Večji premeri ne omogočajo zadostnega razredčenja, manjši pa zaradi večjega dometa curka podajajo občutno večje površine bližnjega območja. Prav tako se je izkazal kot neustrezen vertikalni kot $\vartheta = 30^\circ$, ki podaja nižje vrednosti razredčenja.

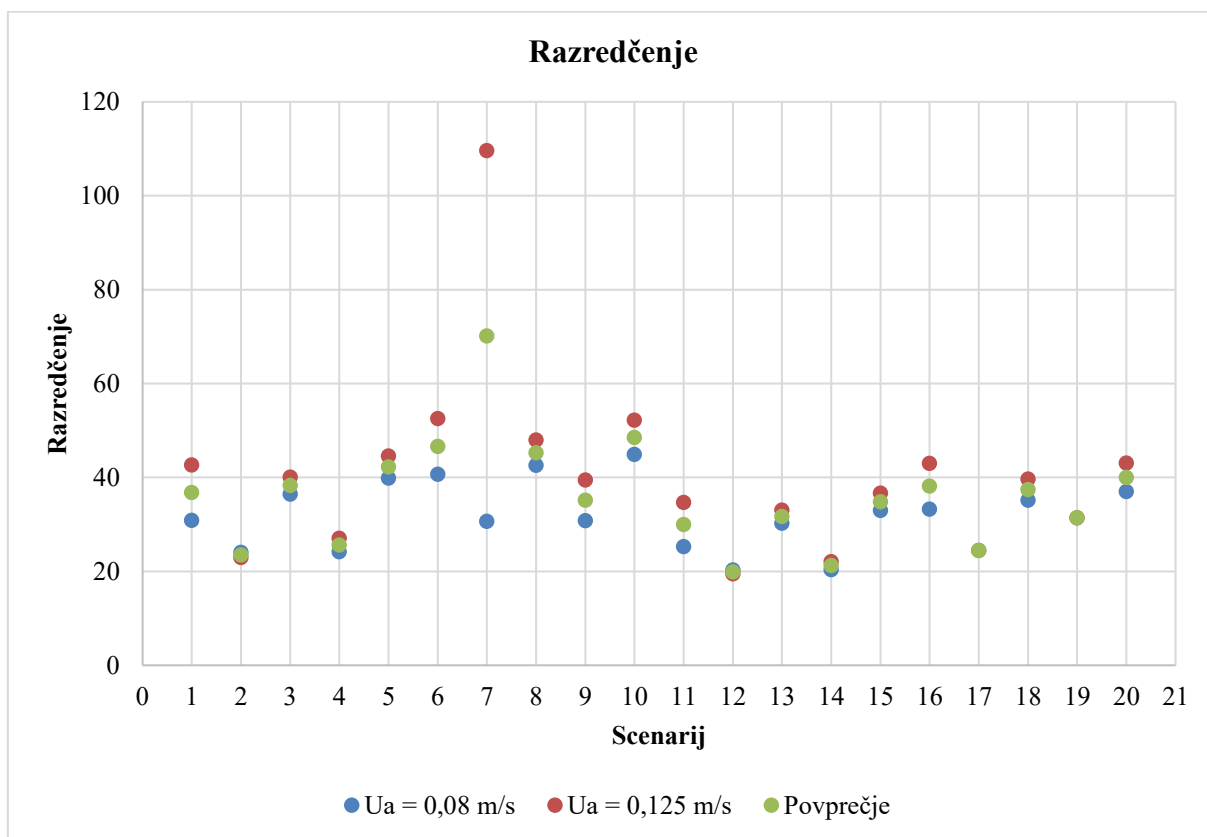
Preglednica 15: Rezultati simulacij v CORMIXU za različne scenarije za Primer 1: zimske razmere s pretokom slanice 60 l/s

Scenarij	Ua [m/s]	D0 [m]	Tip konfiguracije	θ [°]	ΔC [g/l]	Razredčenje	Karakteristični polmer [m]	Površina [m ²]
1	0,08	0,13	A	45	1,24	30,9	9,6	287,1
2		0,13	B	45	1,58	24,1	3,2	32,2
3		0,13	C	45	1,05	36,5	28,2	2505,4
4		0,13	D	45	1,58	24,2	11,6	421,5
5		0,13	E	45	0,96	39,9	28,4	2539,8
6		0,13	A	60	0,94	40,7	28,7	2589,0
7		0,13	B	60	1,24	30,7	22,4	1573,5
8		0,13	C	60	0,90	42,6	30,6	2934,0
9		0,13	D	60	1,24	30,8	23,8	1775,2
10		0,13	E	60	0,85	44,9	30,7	2964,7
11		0,14	A	45	1,51	25,3	8,6	230,9
12		0,14	B	45	1,88	20,3	3,0	27,7
13		0,14	C	45	1,26	30,3	26,0	2123,7
14		0,14	D	45	1,87	20,4	13,3	552,4
15		0,14	E	45	1,16	33	26,4	2196,4
16		0,14	A	60	1,15	33,3	26,6	2217,2
17		0,14	B	60				0,0
18		0,14	C	60	1,08	35,2	28,4	2525,0
19		0,14	D	60				0,0
20		0,14	E	60	1,03	37	28,4	2539,7
21	0,125	0,13	A	45	0,89	42,7	9,8	303,1
22		0,13	B	45	1,66	23	1,8	10,2
23		0,13	C	45	0,95	40,1	18,6	1081,0
24		0,13	D	45	1,41	27,1	6,4	127,9
25		0,13	E	45	0,86	44,6	18,1	1029,8
26		0,13	A	60	0,73	52,6	18,3	1050,3
27		0,13	B	60	0,35	109,6	20,0	1251,6
28		0,13	C	60	0,80	48	19,9	1242,9
29		0,13	D	60	0,97	39,5	14,4	649,0
30		0,13	E	60	0,73	52,2	19,6	1209,3
31		0,14	A	45	1,10	34,7	8,8	242,0
32		0,14	B	45	1,96	19,5	1,8	9,7
33		0,14	C	45	1,15	33,1	17,0	910,1
34		0,14	D	45	1,73	22,1	5,8	104,5
35		0,14	E	45	1,04	36,7	16,7	880,2
36		0,14	A	60	0,89	43	16,8	891,2
37		0,14	B	60	1,56	24,5	10,5	343,7
38		0,14	C	60	0,96	39,7	18,3	1053,2
39		0,14	D	60	1,21	31,4	13,2	545,3
40		0,14	E	60	0,89	43,1	18,1	1031,7

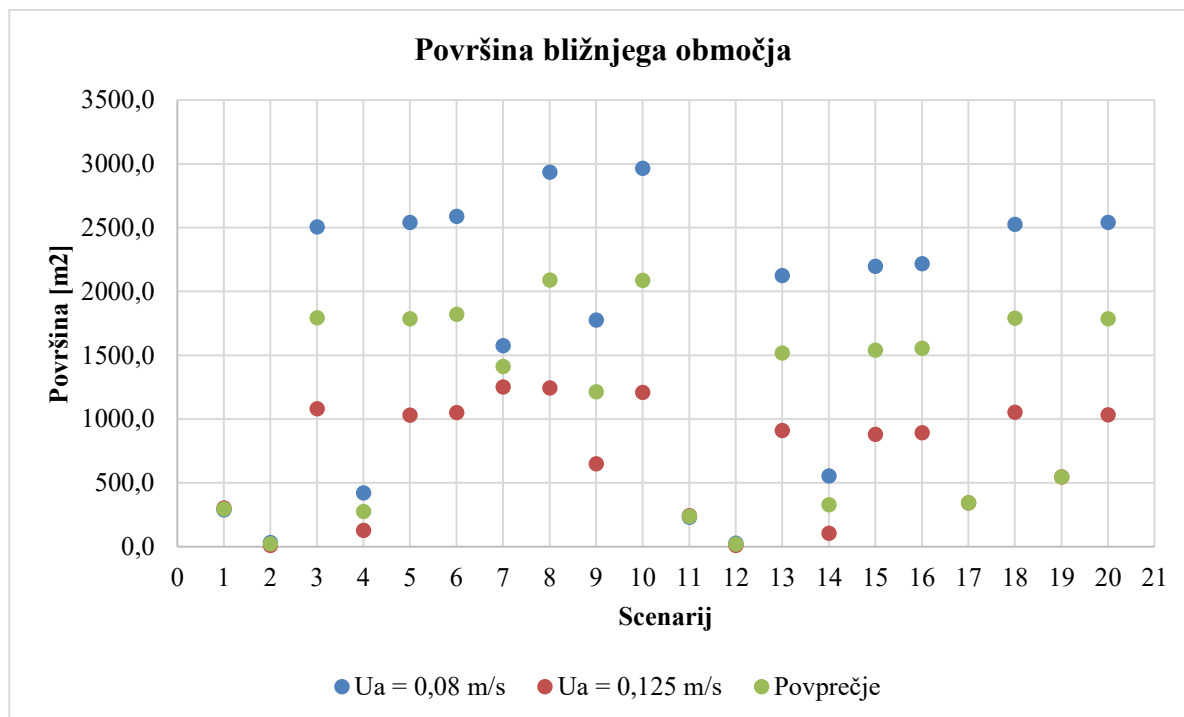
Grafični prikaz rezultatov površin bližnjega območja je prikazan na grafikonu 2. Iz rezultatov lahko razberemo, da ima zelo velik vpliv na velikosti površine bližnjega območja hitrost okoliškega toka. Scenariji 12, 14 in 32 niso merodajni, saj ne izpolnjujejo pogoja razredčenja. Grafikon 3 prikazuje vpliv okoliškega toka na razredčenje, grafikon 4 pa vpliv okoliškega toka na površino bližnjega območja (scenariji od 21-40 ustrezajo scenarijem 1-20 pri hitrosti okoliškega $Ua = 0,125$ m/s). Samo v primeru scenarijev 2 in 12 je vrednost razredčenja večja pri manjši hitrosti Ua . Manjše površine bližnjega območja praviloma dobimo ob večjih hitrostih okoliškega toka, izjema sta le scenarija 1 in 11.



Grafikon 2: Grafični prikaz površine bližnjega območja za različne scenarije za Primer 1

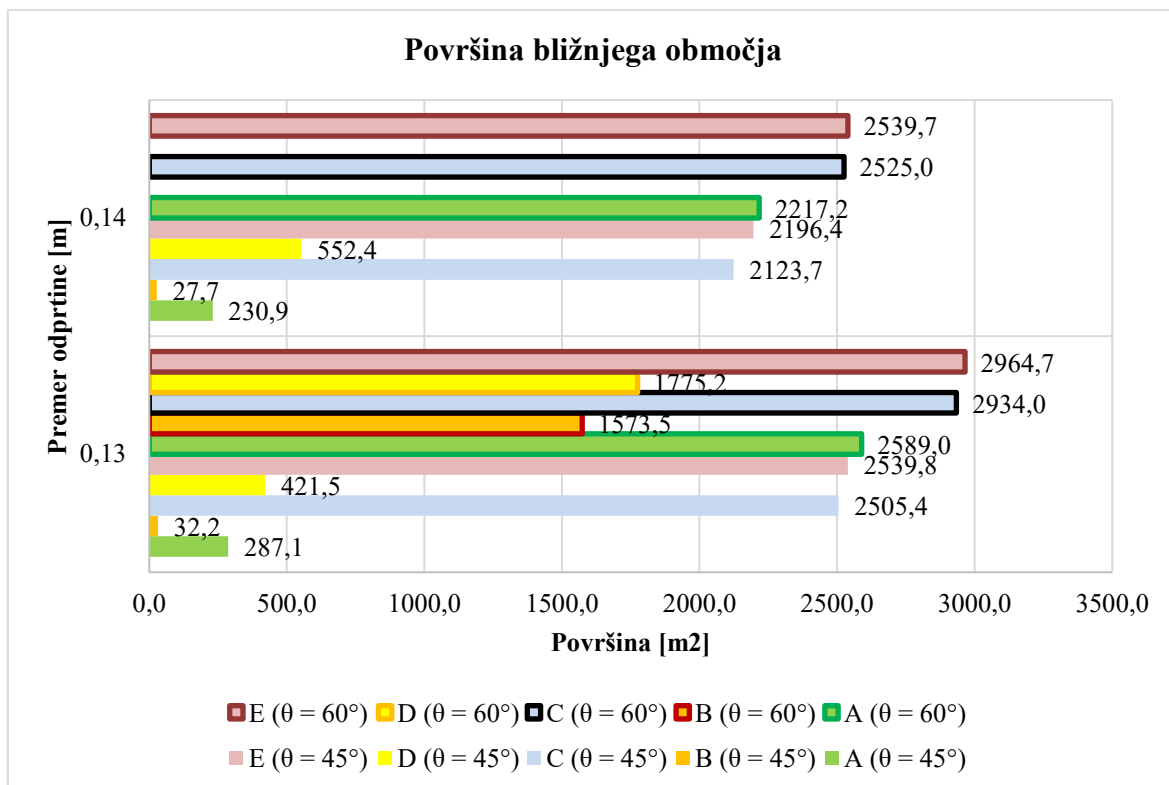


Grafikon 3: Grafični prikaz razredčenja v odvisnosti od okoliškega toka za Primer 1

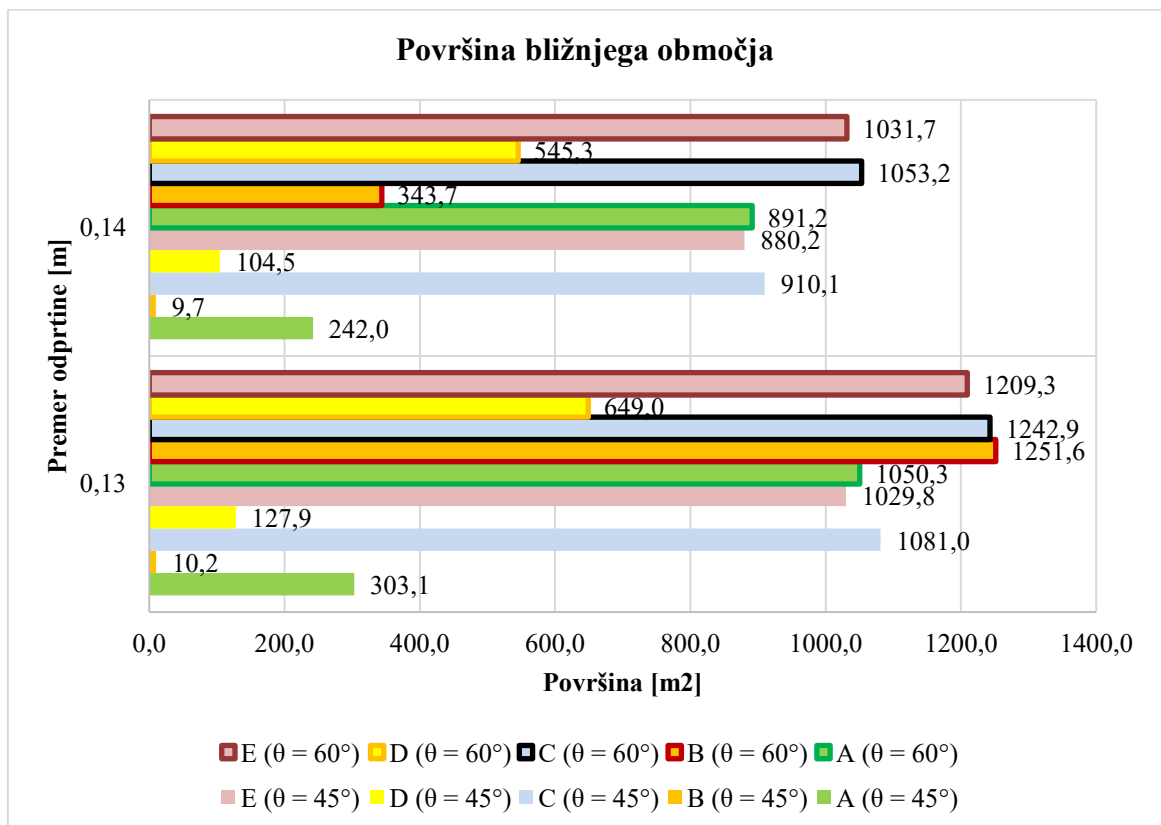


Grafikon 4: Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od okoliškega toka za Primer 1

Če primerjamo vpliv tipa konfiguracije pri enakih ostalih spremenljivih parametrih ugotovimo, da podaja tip B najmanjše površine z izjemo scenarija 27. V pogojih slednjega je s tipom B dosežena najvišja vrednost razredčenja in posledično tudi največja površina. Nekoliko večje površine dobimo s konfiguracijama tipov A in D ter precej večje pri tipih C in E. Pri $U_a = 0,08 \text{ m/s}$ znaša za ustrezne scenarije povprečno razredčenje 32,7, pri $U_a = 0,125 \text{ m/s}$ pa 41,5. Povprečna površina bližnjega območja ustreznih scenarijev znaša pri $U_a = 0,08 \text{ m/s}$ 1794 m² pri $U_a = 0,125 \text{ m/s}$ pa 735 m². Iz grafikonov 5 in 6 je razvidno, da se pri večjem premeru odprtine dosegajo manjše površine. Izkaže se, da vrednost vertikalnega kota $\theta = 45^\circ$ podaja manjše površine v primerjavi s kotom $\theta = 60^\circ$ v vseh primerih, ne glede na ostale parametre.

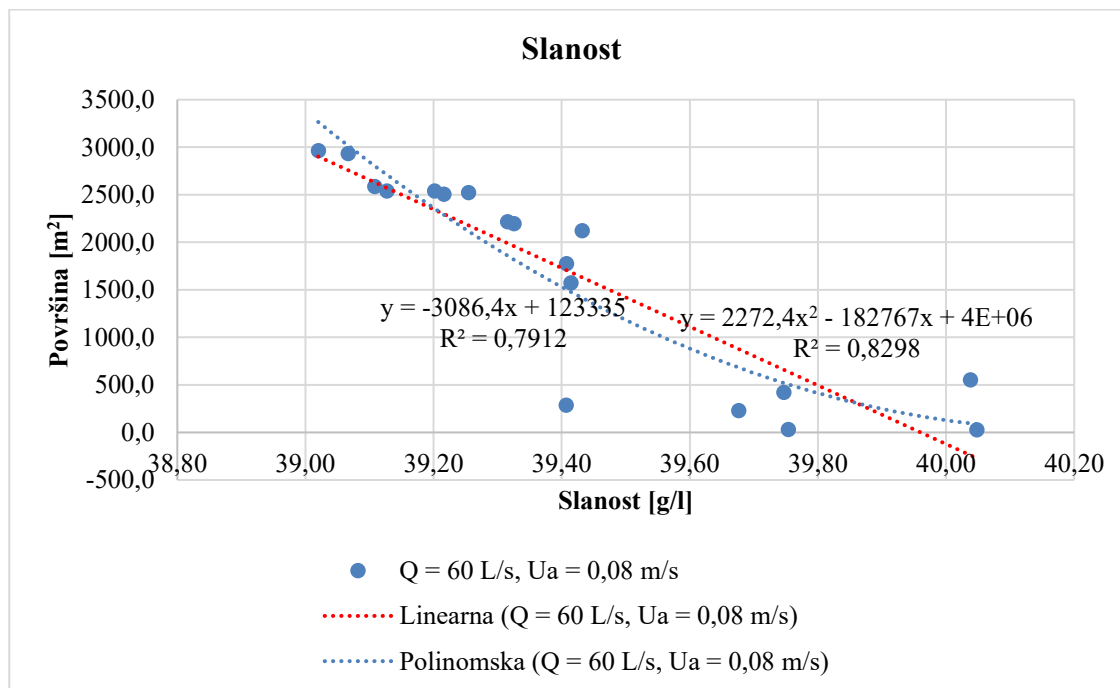


Grafikon 5: Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od premera odprtine in vertikalnega kota θ pri $Ua = 0,08$ m/s za Primer 1

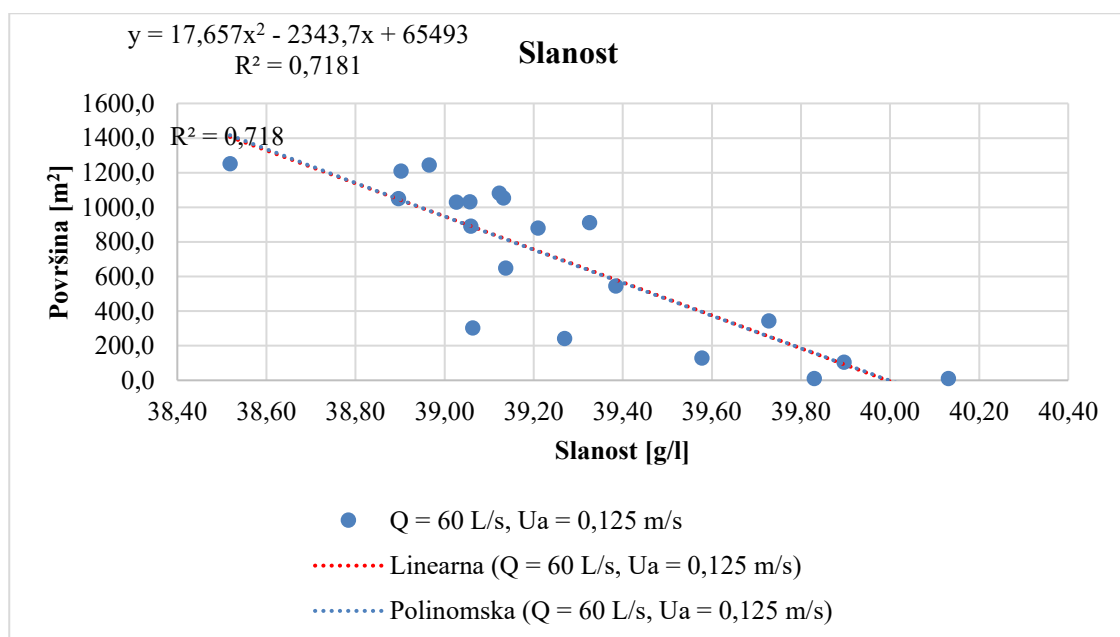


Grafikon 6: Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od premera odprtine in vertikalnega kota θ pri $Ua = 0,125$ m/s za Primer 1

Na grafikonih 7 in 8 je prikazana teoretična slanost (izračunana na podlagi dobljenih presežkov koncentracije soli) na robu bližnjega območja v odvisnosti od velikosti površine. Pri $U_a = 0,08$ m/s znaša najmanjša površina bližnjega območja z izpolnjenim pogojem razredčenja $32,2 \text{ m}^2$ in pripada scenariju 2. Pri $U_a = 0,125$ m/s pa znaša najmanjša površina bližnjega območja z izpolnjenim pogojem razredčenja $10,2 \text{ m}^2$ in pripada scenariju 22. Scenarija 2 in 22 imata enak tip konfiguracije (tip B), enak premer odprtine ($D_0 = 0,13 \text{ m}$) in enak vertikalni kot θ , ki znaša 45° .

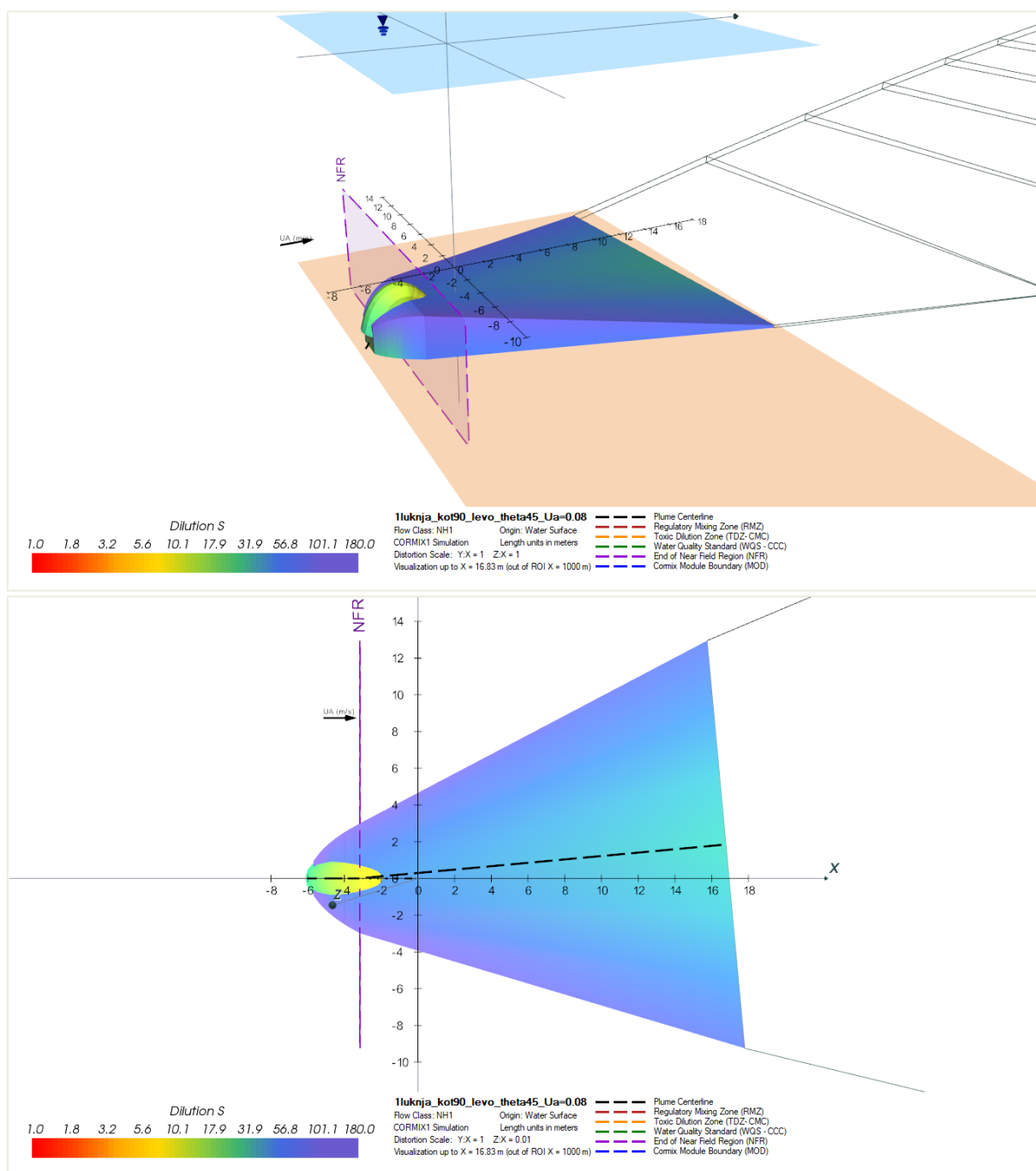


Grafikon 7: Grafični prikaz slanosti v odvisnosti od površine bližnjega območja za $U_a = 0,08 \text{ m/s}$ za Primer 1

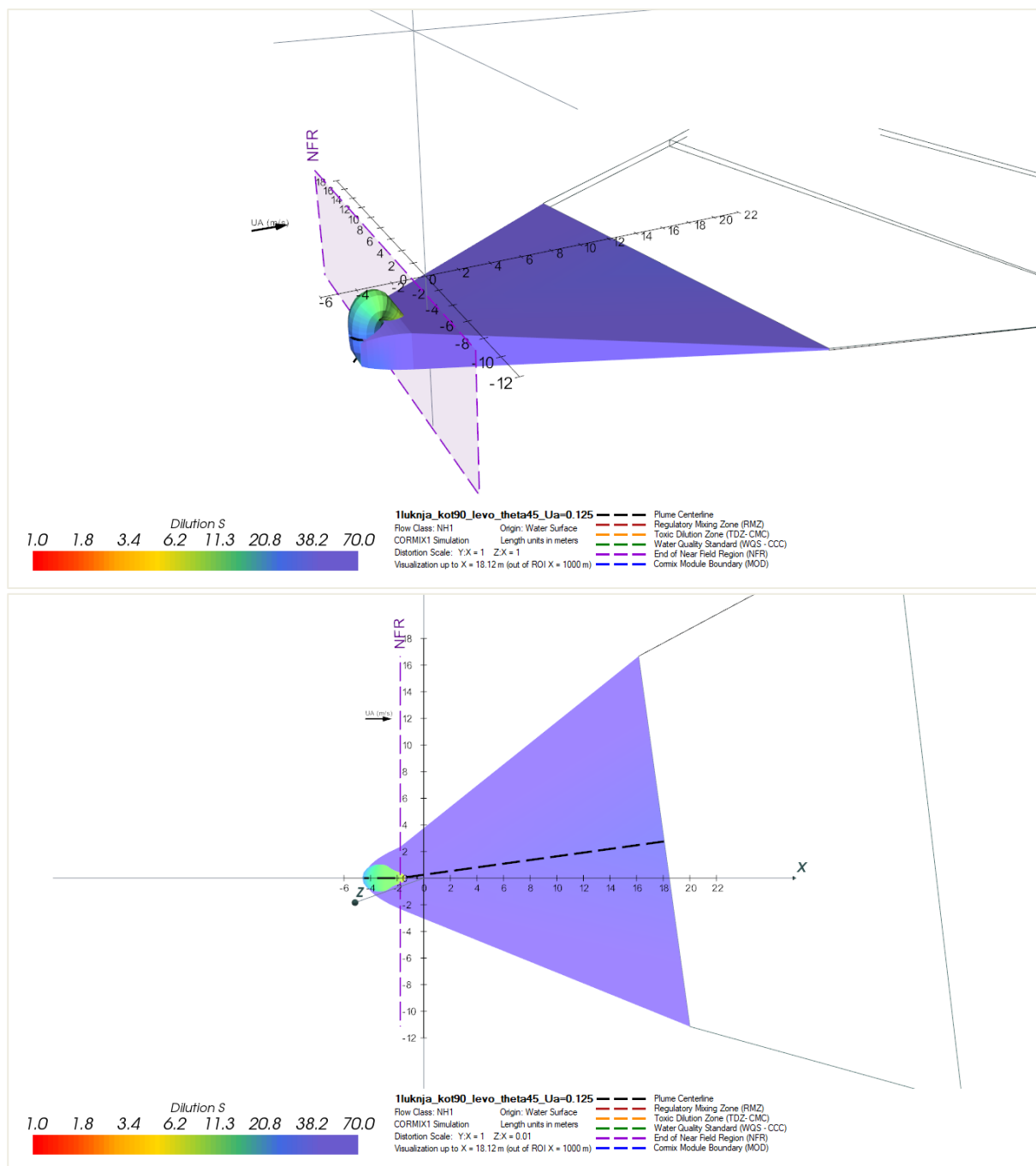


Grafikon 8: Grafični prikaz slanosti v odvisnosti od površine bližnjega območja za $U_a = 0,125 \text{ m/s}$ za Primer 1

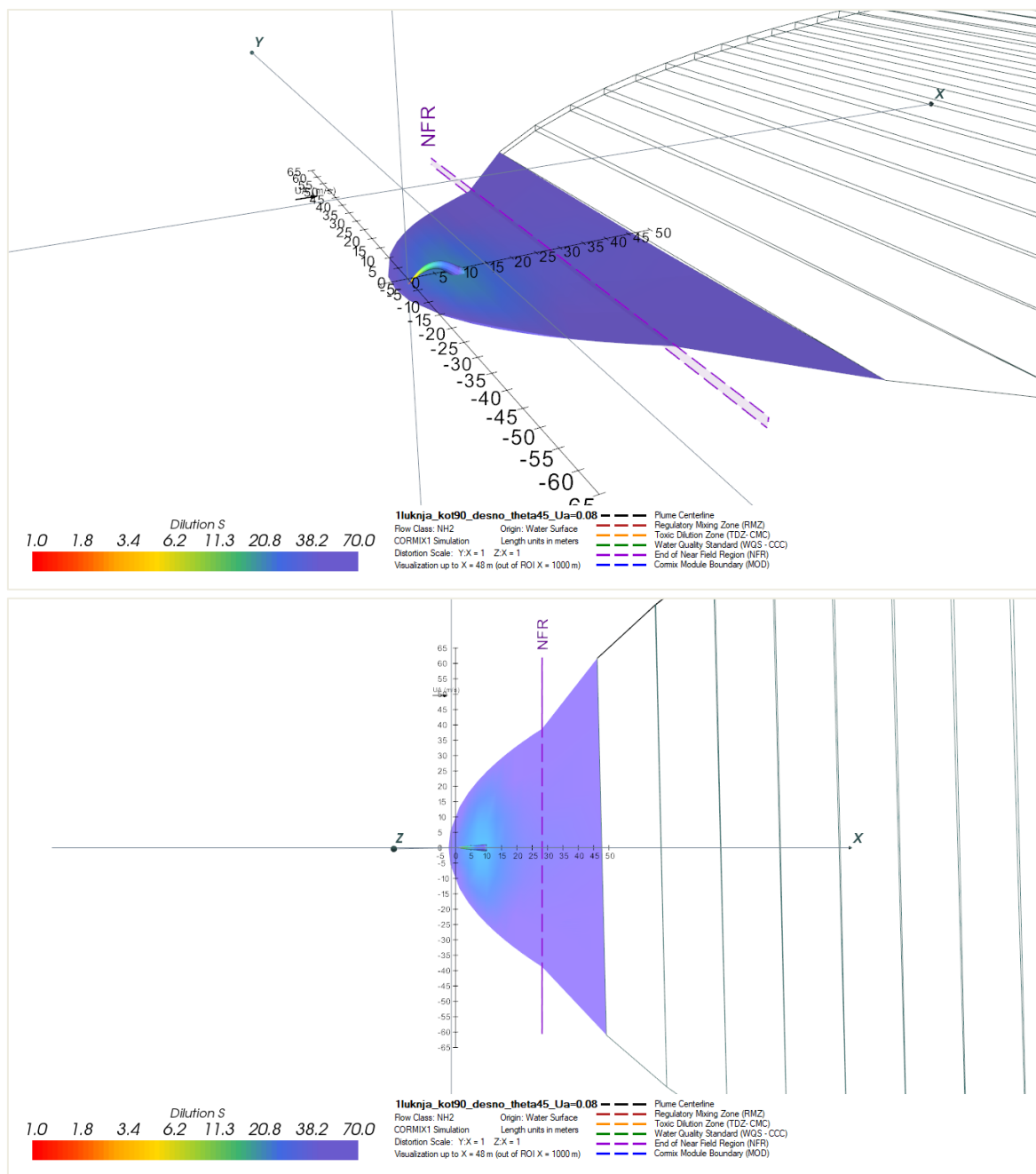
Na slikah 32 in 33 je grafični prikaz razredčenja scenarijev 2 in 22. Iz slik je razvidno, da se pri večji hitrosti okoliškega toka curek ob doseženi maksimalni višini usmeri proti dnu na manjši razdalji (ožji/strmejši upogib curka). Curek se ob dnu razprši v oblak s povečano koncentracijo soli, ki se širi in pomika v smeri okoliškega toka. Pri večjih hitrosti okoliškega toka curki dosežejo dno oziroma se razpršijo na večji razdalji od izpustne odprtine. Slednje je še posebej opazno v primerih ko je šoba izpusta obrnjena v smer okoliškega toka. Kot primer sta prikazana na slikah 34 in 35 scenarija 3 in 23. Grafični prikazi razredčenja vseh scenarijev so podani v prilogah A1 – A38.



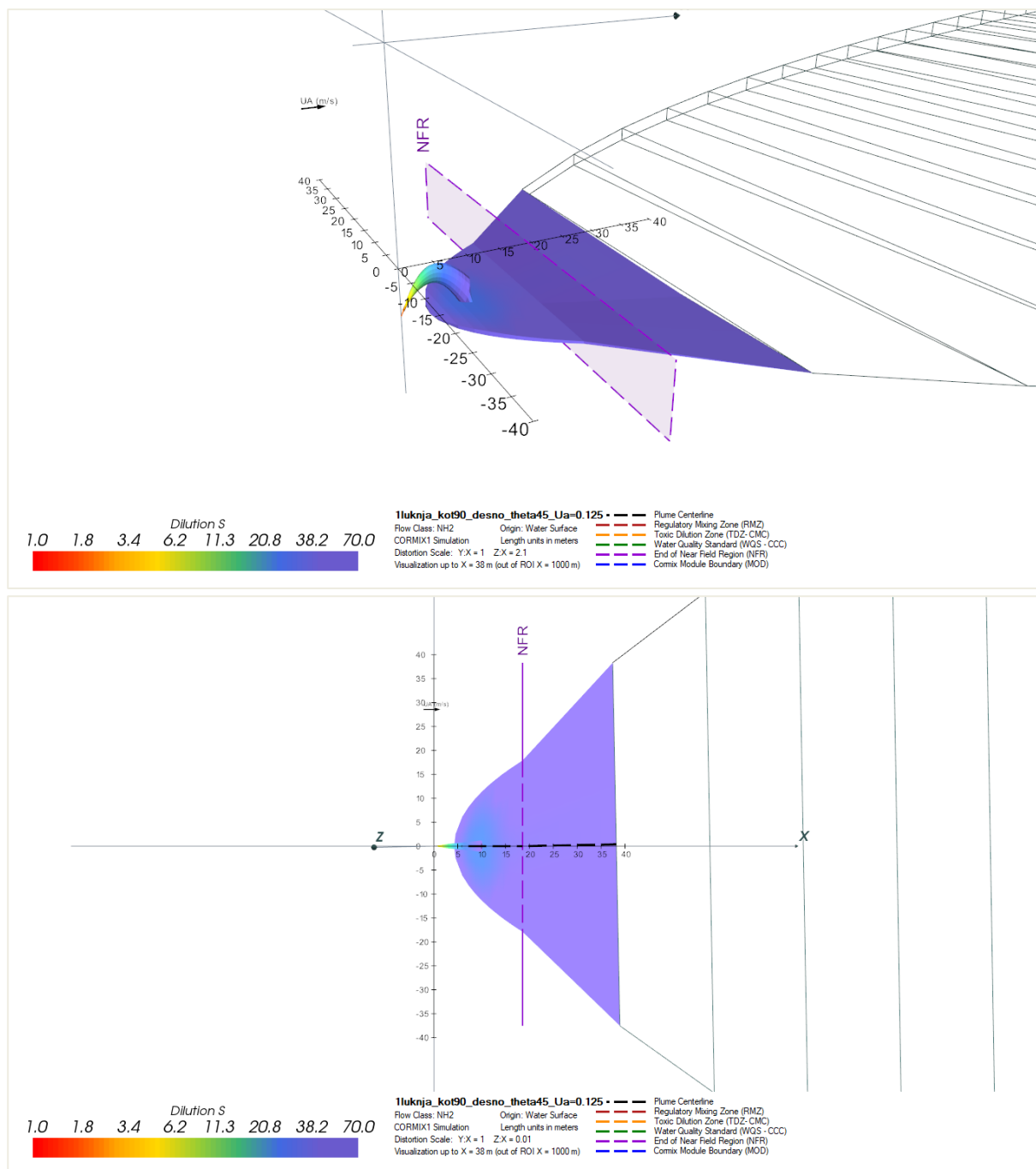
Slika 32: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 2-Primer 1



Slika 33: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 22-Primer 1



Slika 34: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 3-Primer 1



Slika 35: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 23-Primer 1

4.2.2 Primer 2 – izpust z štirimi odprtini

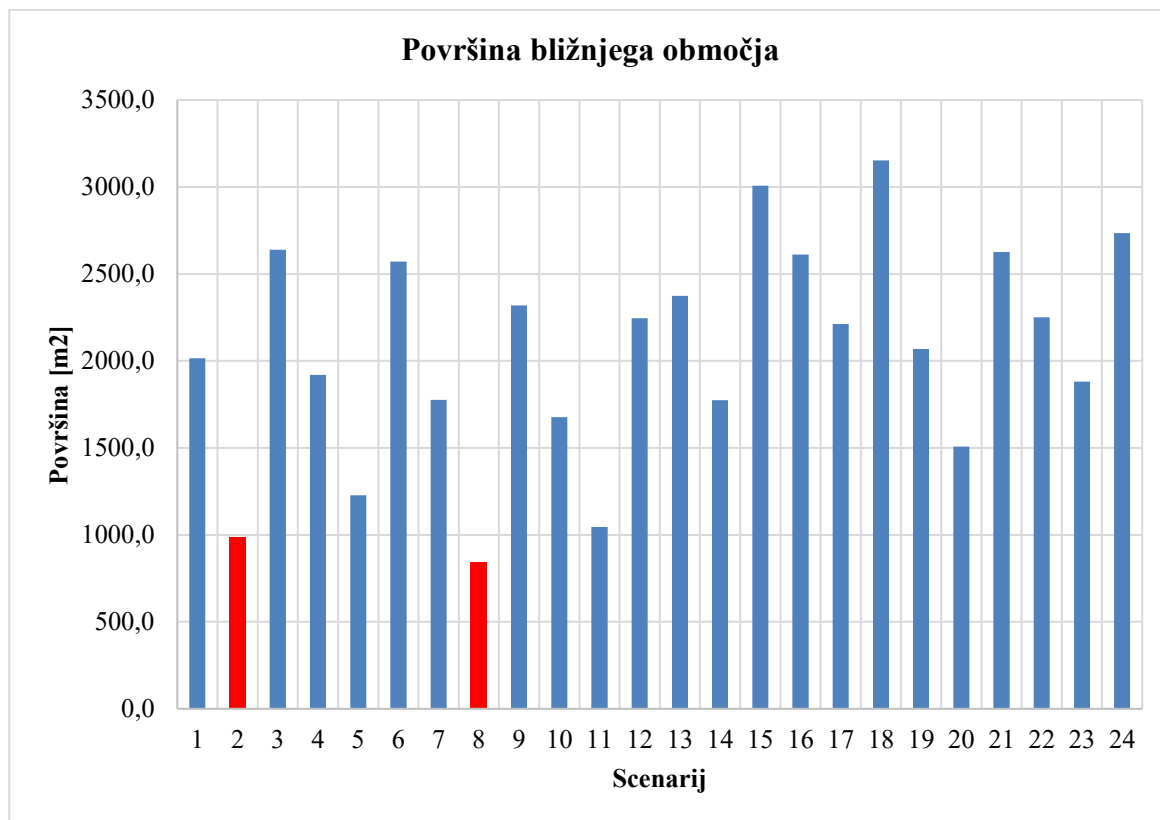
Rezultati simulacij so prikazani v preglednici 16. Koncentracija soli je podana kot pribitek koncentracije ΔC glede na koncentracijo soli okoliške vode. Za izpolnitev pogoja razredčenja je potrebno razredčenje v vrednosti najmanj 19,94 oziroma ΔC ne sme presegati vrednosti 1,91 g/l. Primeri, ki ne izpolnjujejo pogoja so obarvani rdeče. Sprva smo opravili simulacije z več različnimi premeri odprtini, vendar sta se enako kot v Primeru 1, izkazala za najprimernejša premera 13 in 14 cm. Večji premeri ne omogočajo zadostnega razredčenja, manjši pa zaradi večjega dometa curka podajajo občutno večje površine

bližnjega območja. Prav tako se je izkazal kot neustrezen vertikalni kot $\theta = 30^\circ$, ki podaja manjše vrednosti razredčenja.

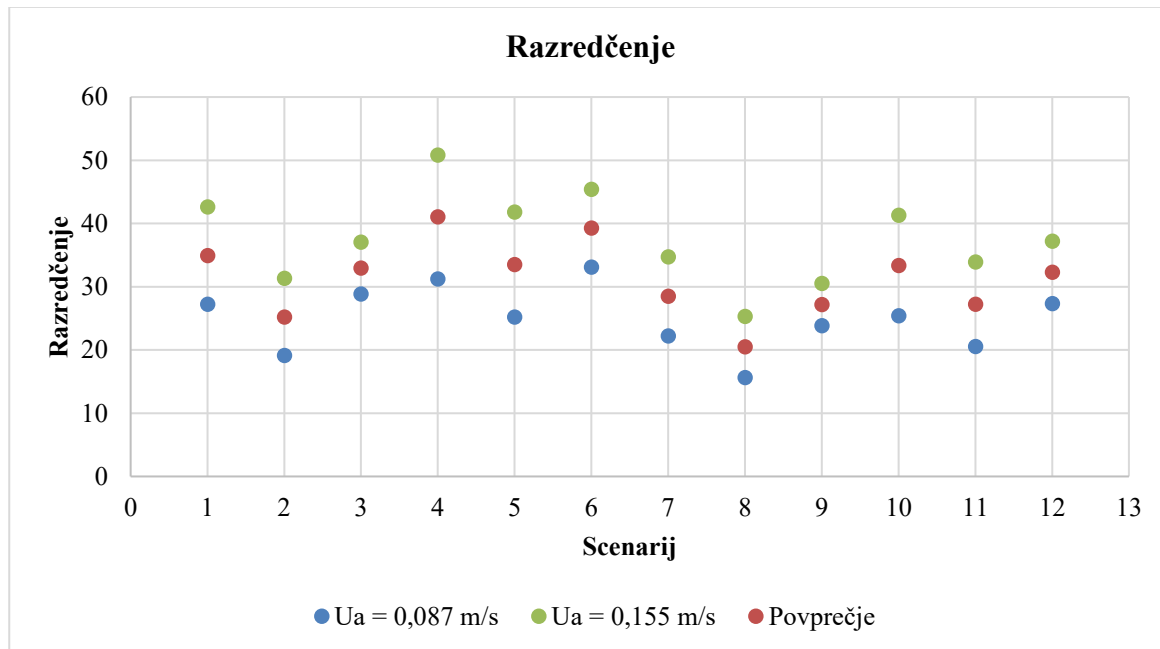
Preglednica 16: Rezultati simulacij v CORMIXU za različne scenarije za Primer 2: poletne razmere s pretokom slanice 240 l/s

Scenarij	Ua [m/s]	Do [m]	Tip konfiguracije	θ [°]	ΔC [g/l]	Razredčenje	Karakteristični polmer [m]	Površina [m ²]
1	0,087	0,13	A	45	1,40	27,2	8,8	2015,3
2		0,13	B	45	2,00	19,1	4,6	986,5
3		0,13	C	45	1,32	28,8	11,2	2639,5
4		0,13	A	60	1,22	31,2	8,5	1920,4
5		0,13	B	60	1,51	25,2	5,6	1227,9
6		0,13	C	60	1,15	33,1	11,0	2572,1
7		0,14	A	45	1,71	22,2	7,9	1776,2
8		0,14	B	45	2,44	15,6	4,0	841,3
9		0,14	C	45	1,60	23,8	10,0	2319,4
10		0,14	A	60	1,50	25,4	7,5	1677,3
11		0,14	B	60	1,86	20,5	4,9	1046,2
12		0,14	C	60	1,40	27,3	9,7	2246,0
13	0,155	0,13	A	45	0,89	42,6	10,2	2373,4
14		0,13	B	45	1,22	31,3	7,9	1773,6
15		0,13	C	45	1,03	37	12,6	3007,6
16		0,13	A	60	0,75	50,8	11,1	2611,5
17		0,13	B	60	0,91	41,8	9,6	2212,1
18		0,13	C	60	0,84	45,4	13,1	3153,5
19		0,14	A	45	1,10	34,7	9,1	2069,1
20		0,14	B	45	1,50	25,3	6,8	1507,7
21		0,14	C	45	1,25	30,5	11,2	2626,0
22		0,14	A	60	0,92	41,3	9,8	2251,2
23		0,14	B	60	1,12	33,9	8,3	1881,5
24		0,14	C	60	1,02	37,2	11,6	2734,5

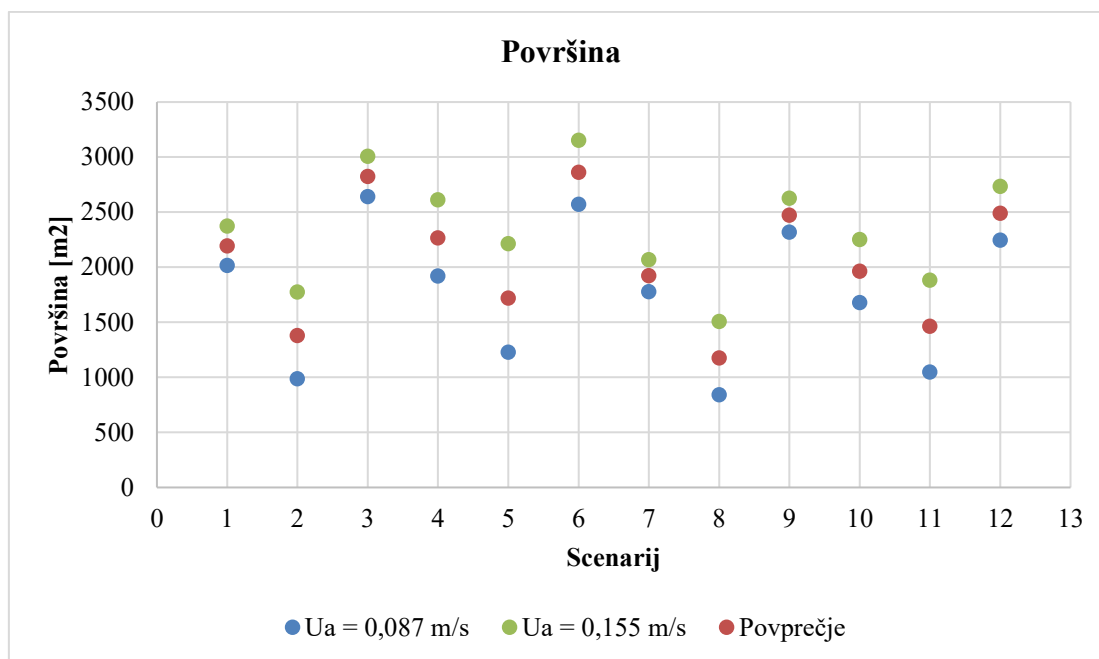
Površine bližnjega območja so prikazan na grafikonu 9. Podobno kot v Primeru 1 lahko iz rezultatov razberemo, da ima največji vpliv na velikost površine bližnjega območja hitrost okoliškega toka. Grafikon 10 prikazuje vpliv okoliškega toka na razredčenje, grafikon 11 pa vpliv okoliškega toka na površino bližnjega območja (scenariji 13-24 ustrezajo scenarijem 1-12 pri hitrosti okoliškega toka $Ua = 0,155$ m/s). Večje hitrosti Ua podajajo večjo stopnjo razredčenja vendar hkrati tudi večje površine bližnjega območja.



Grafikon 9: Grafični prikaz površine bližnjega območja za različne scenarije za Primer 2

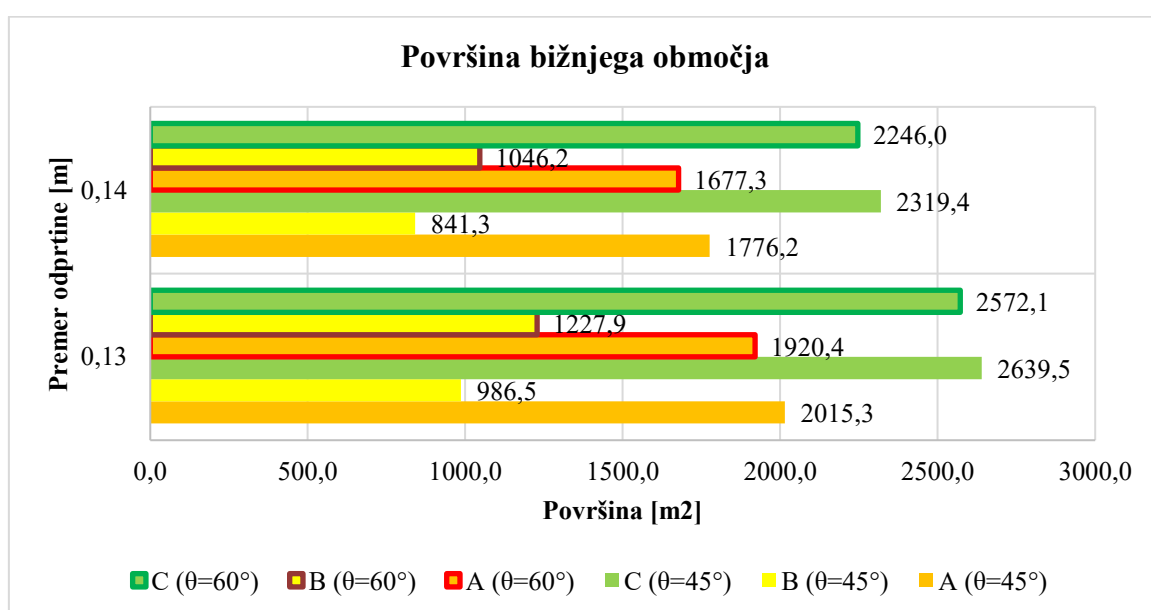


Grafikon 10: Grafični prikaz razredčenja v odvisnosti od okoliškega toka za Primer 2

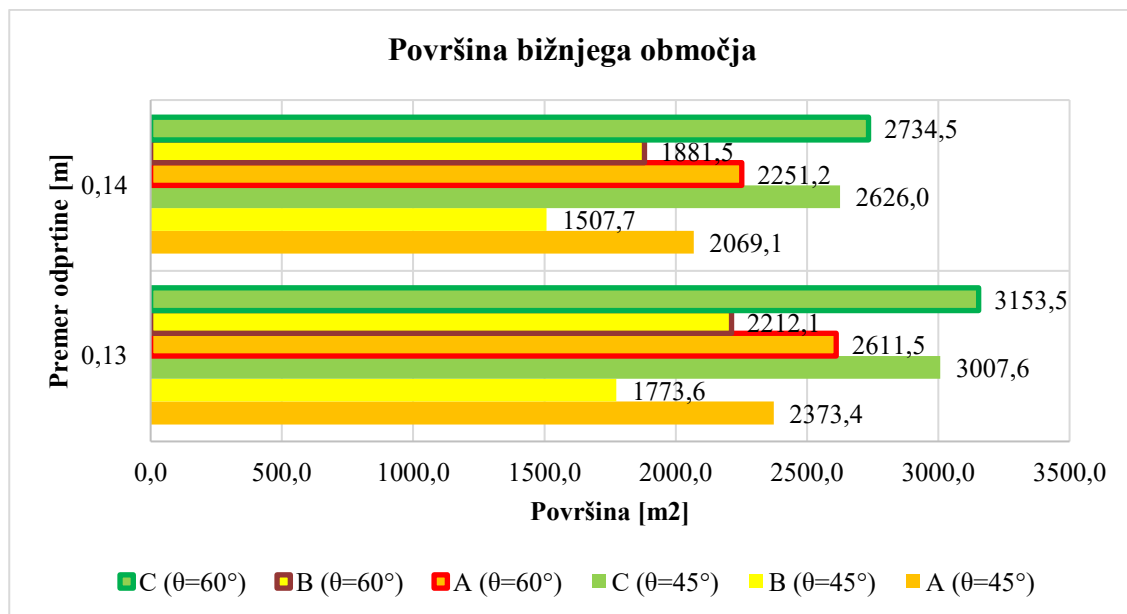


Grafikon 11: Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od okoliškega toka za Primer 2

Če primerjamo vpliv tipa konfiguracije pri enakih ostalih spremenljivih parametrih ugotovimo, da podaja tip B najmanjše površine, vendar v dveh primerih pri nižji hitrosti Ua rezultati niso ustrezni, saj ne dosežemo zadostnega razredčenja. Pri $Ua = 0,087$ m/s znaša za ustrezne scenarije povprečno razredčenje 26,5, pri $Ua = 0,155$ m/s pa 37,6. Pri $Ua = 0,087$ m/s znaša povprečna površina bližnjega območja 1944 m² pri $Ua = 0,155$ m/s pa 2350 m². Največje površine podaja konfiguracija tipa C. Iz grafikonov 12 in 13 je razvidno, da so pri večjem premeru odprtine izračunane manjše površine. Pri $Ua = 0,087$ m/s se izkaže, da vrednost vertikalnega kota $\theta = 45^\circ$ podaja manjše površine pri tipu konfiguracije B (nista ustrezni), medtem, ko pa pri tipu A in C večje kot pri nagibu $\theta = 60^\circ$. Pri $Ua = 0,155$ m/s se pri vseh scenarijih izkaže, da vrednost vertikalnega kota $\nu = 45^\circ$ podaja površine manjše kot pri vrednosti $\theta = 60^\circ$.

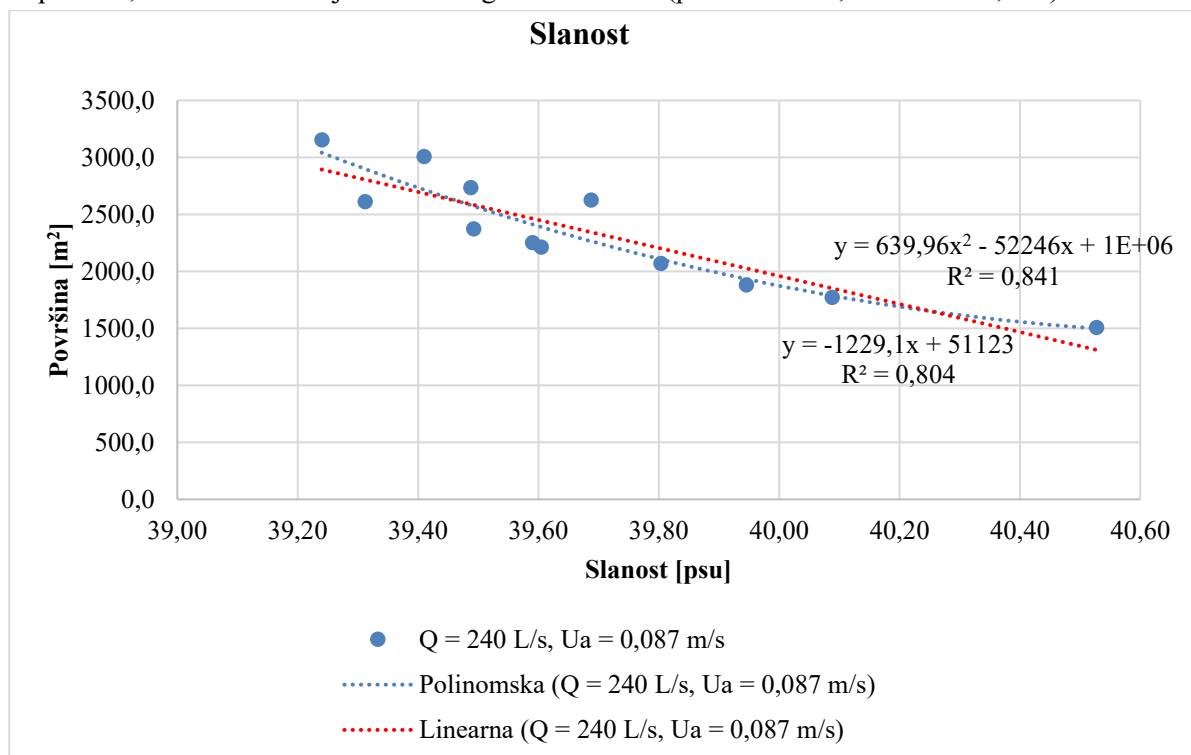


Grafikon 12: Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od premera odprtine in vertikalnega kota θ pri $Ua = 0,087$ m/s za Primer 2

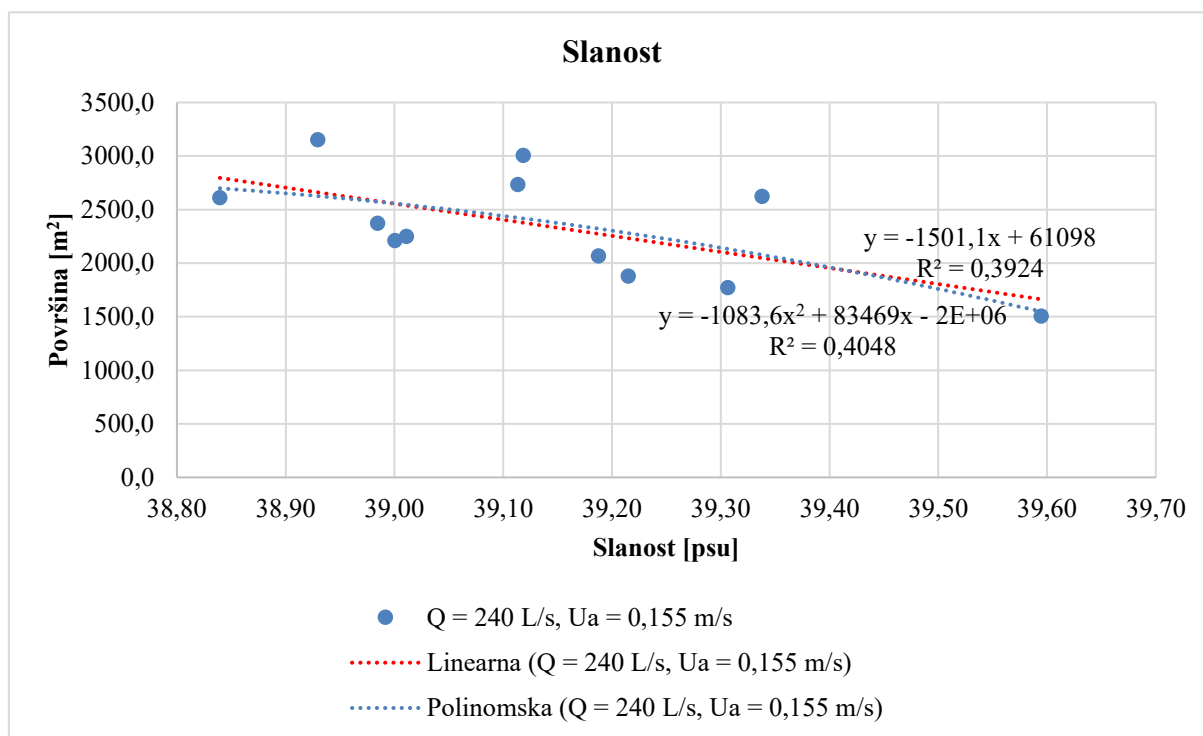


Grafikon 13: Grafični prikaz površine bližnjega območja v odvisnosti od premera odprtine in vertikalnega kota θ pri $Ua = 0,155$ m/s za Primer 2

Na grafikonih 14 in 15 je prikazana teoretična slanost (izračunana na podlagi dobljenih presežkov koncentracije soli) na robu bližnjega območja v odvisnosti od velikosti površine. Pri $Ua = 0,087$ m/s znaša najmanjša površina bližnjega območja z izpolnjenim pogojem razredčenja $1046,2$ m² in pripada scenariju 11. Pri $Ua = 0,155$ m/s pa znaša najmanjša površina bližnjega območja z izpolnjenim pogojem razredčenja $1507,7$ m² in pripada scenariju 20. Scenarija 11 in 20 imata enak tip konfiguracije (tip B) in enak premer odprtine ($D_0 = 0,14$ m) razlikujeta se pa v vrednosti vertikalnega kota θ . Ob upoštevanju enakih vrednosti vseh spremenljivih parametrov razen hitrosti okoliškega toka dobimo najmanjšo površino v primeru scenarijev 7 in 19. Gre za scenarija s konfiguracijo tipa A, premerom odprtine $0,14$ m in vrednostjo vertikalnega kota $\theta = 45^\circ$ (površini $1776,2$ m² in $2069,1$ m²).

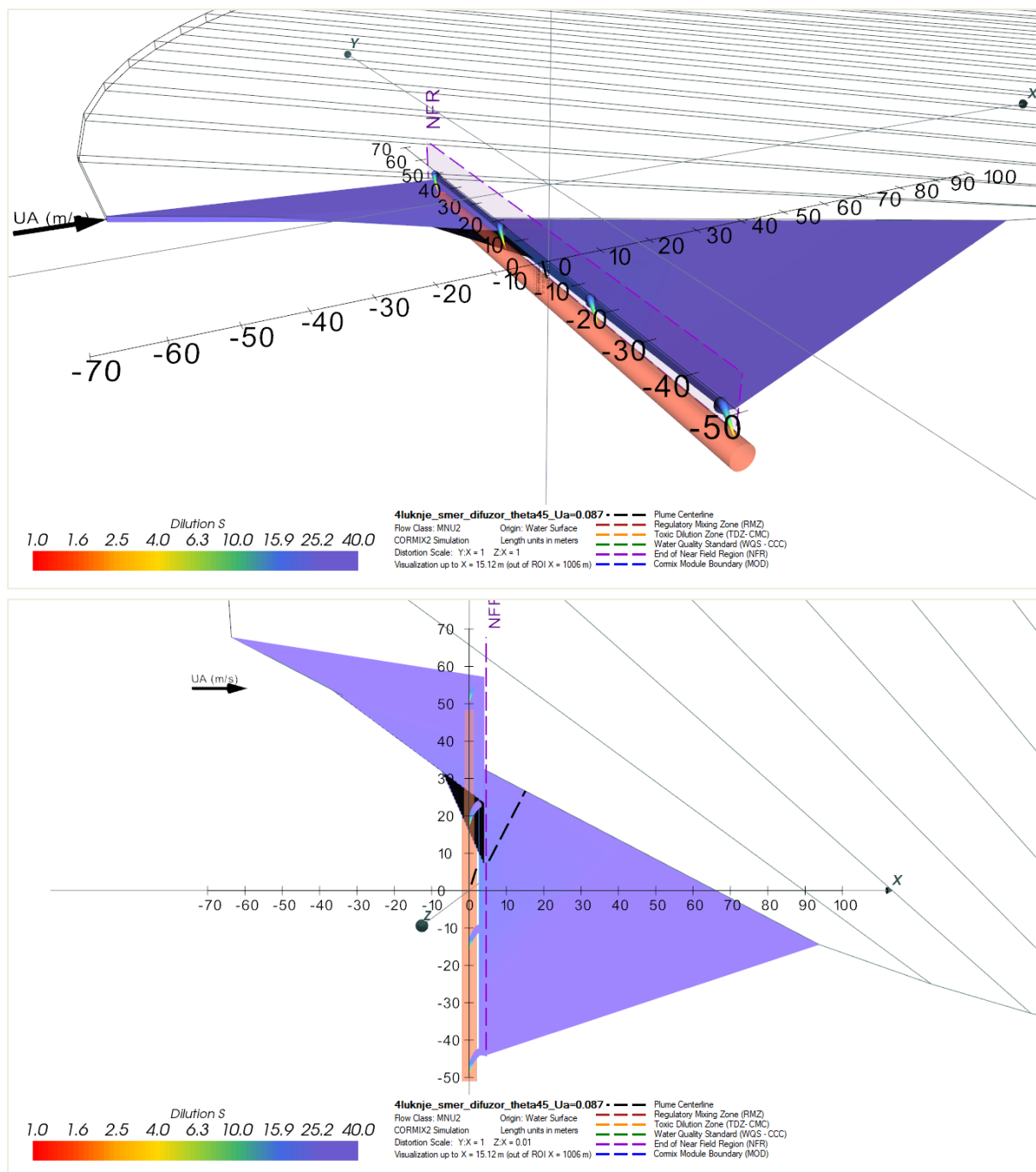


Grafikon 14: Grafični prikaz slanosti v odvisnosti od površine bližnjega območja $Ua = 0,087$ m/s za Primer 2

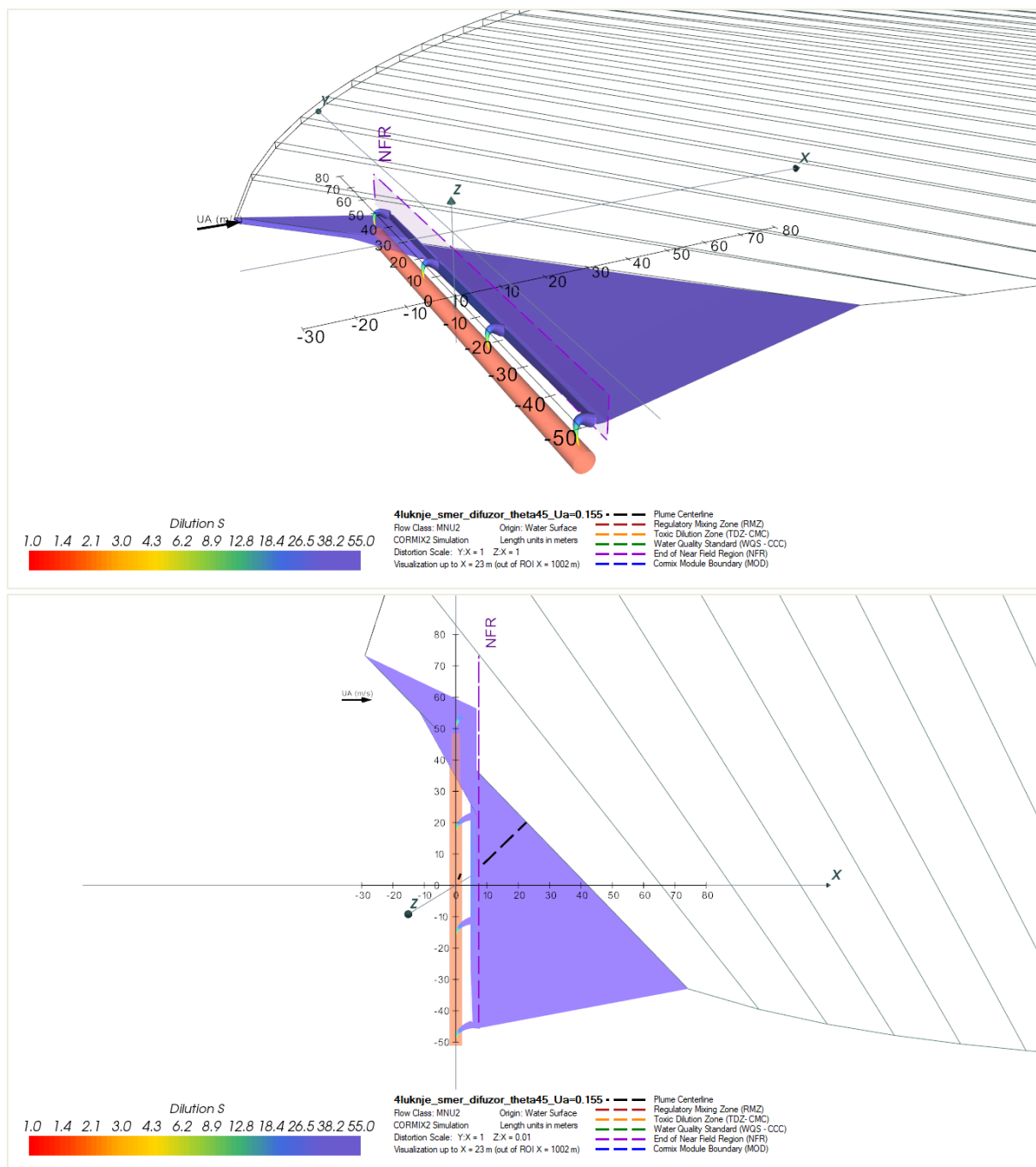


Grafikon 15: Grafični prikaz slanosti v odvisnosti od površine bližnjega območja $Ua = 0,155$ m/s za Primer 2

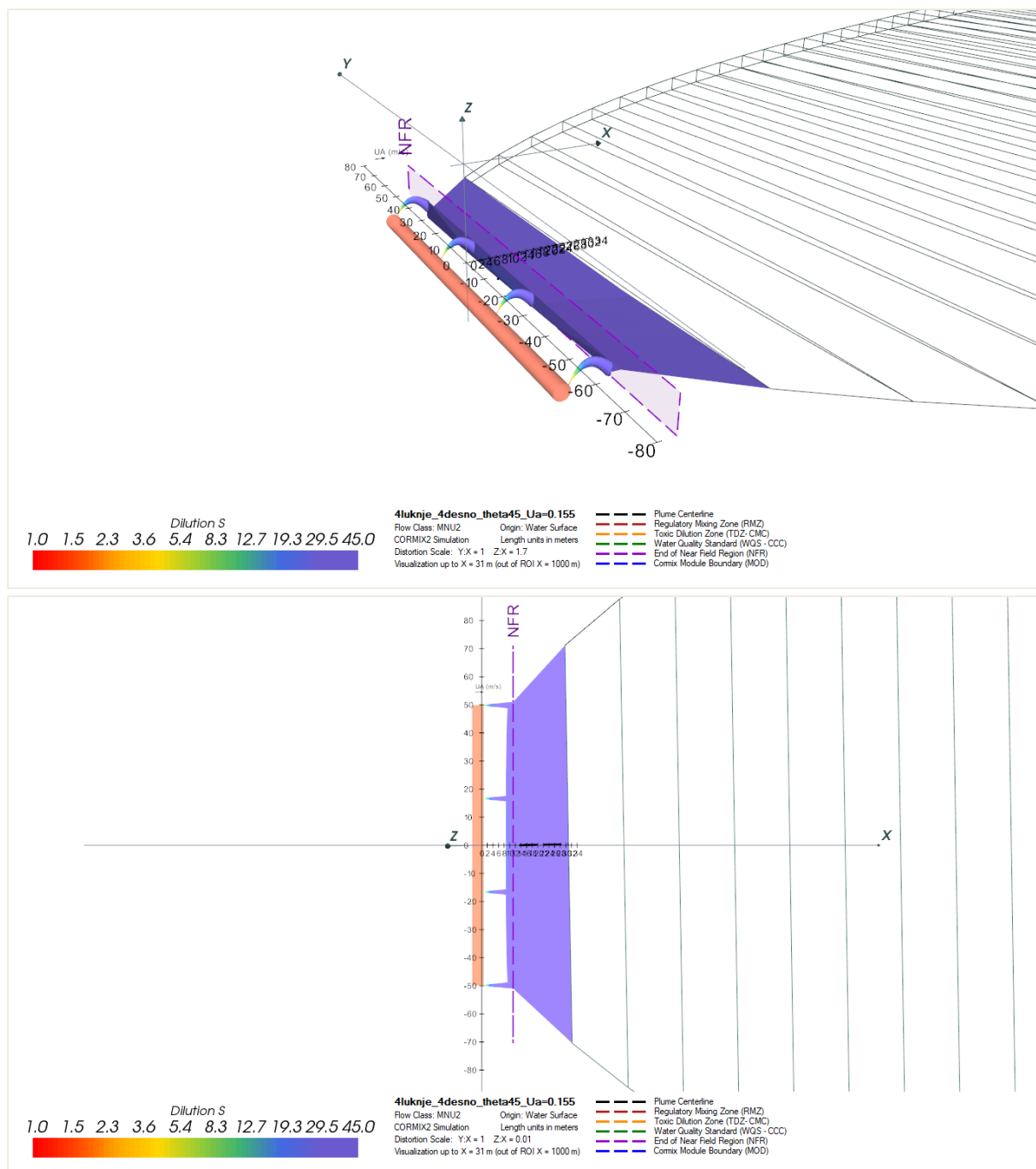
Na slikah 36 in 37 je grafični prikaz razredčenja scenarijev 7 in 19. Iz slik je razvidno, da ima manjša hitrost okoliškega toka manjši vpliv na usmeritev curkov. Pri večjih hitrosti okoliškega toka curki dosežejo dno oziroma se razpršijo na večji razdalji od izpustnih odprtin. Slednje je še posebej opazno pri konfiguraciji tipa C. Kot primer je prikazan na sliki 38 scenarij 21. Najmanjše velikosti karakterističnega polmera bližnjega območja so dosežene pri konfiguraciji tipa B (primer slika 39). Grafični prikazi razredčenja vseh scenarijev so podani v prilogah B1 – B24. Iz rezultatov je razvidno, da se slanica pri konfiguraciji tipov B in C v celoti širi na stran difuzorja, ki kaže v smeri okoliškega toka, medtem, ko pa se pri tipu A del oblaka s povečano slanostjo širi na nasprotno stran difuzorja.



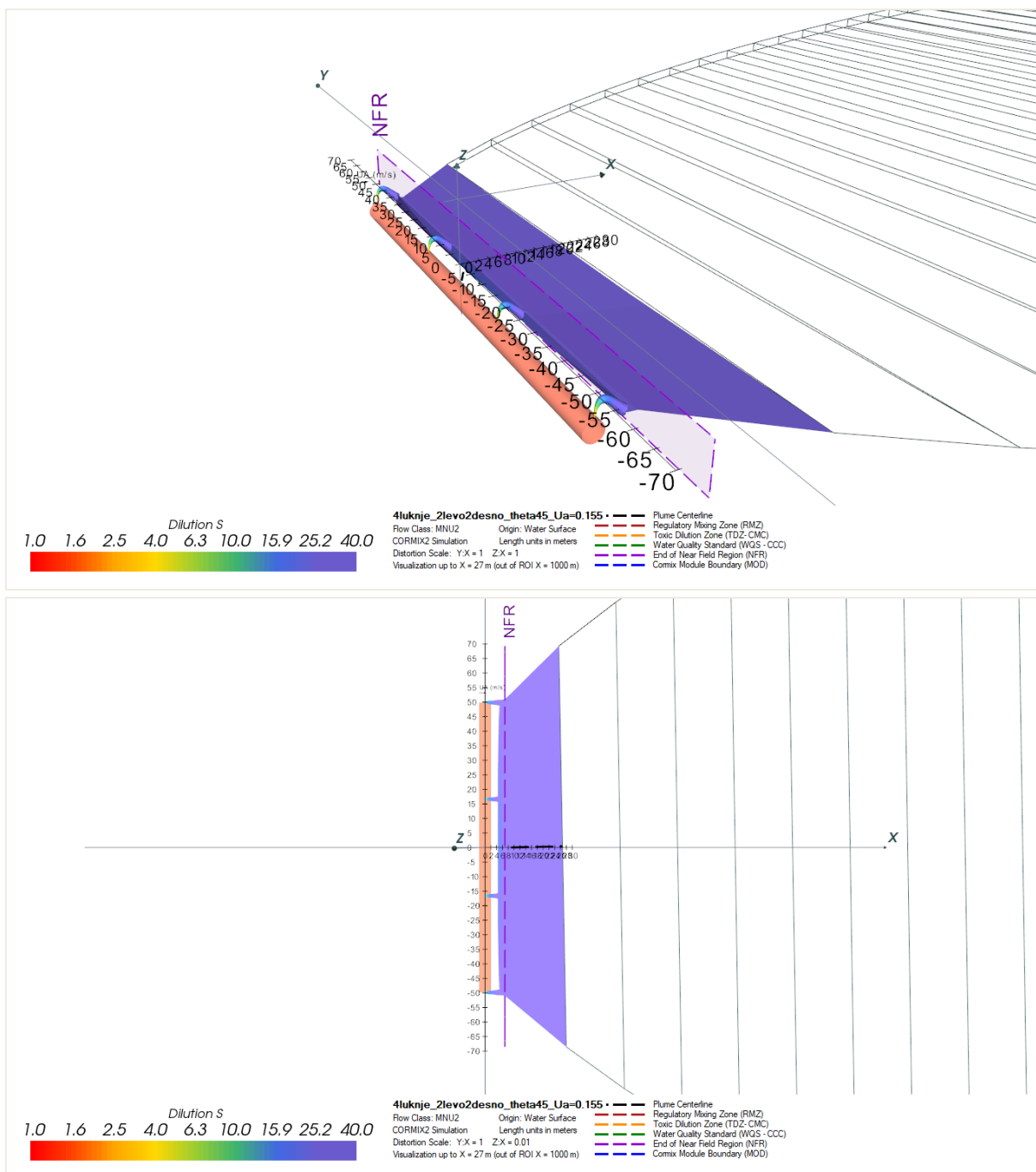
Slika 36: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 7-Primer 2



Slika 37: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 19-Primer 2



Slika 38: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 21-Primer 2



Slika 39: Grafični prikaz razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 20-Primer 2

4.2.2.1 Primer neenakomerne razporeditve gostote

Ker je v poletnem času v Tržaškem zalivu pogost pojav neenakomerne razporeditve gostote po vodnem stolpcu, smo izvedli za konfiguracijo tipa A 8 scenarijev v stratificiranih pogojih. Podatki o gostotah so prikazani v preglednici 17 in se nanašajo na mesec avgust. Rezultati so podani v preglednici 18. Upoštevali smo podatke povprečne mesečne slanosti s prištevkem standardnega odklona. Pri temperaturi smo upoštevali povprečne mesečne vrednosti.

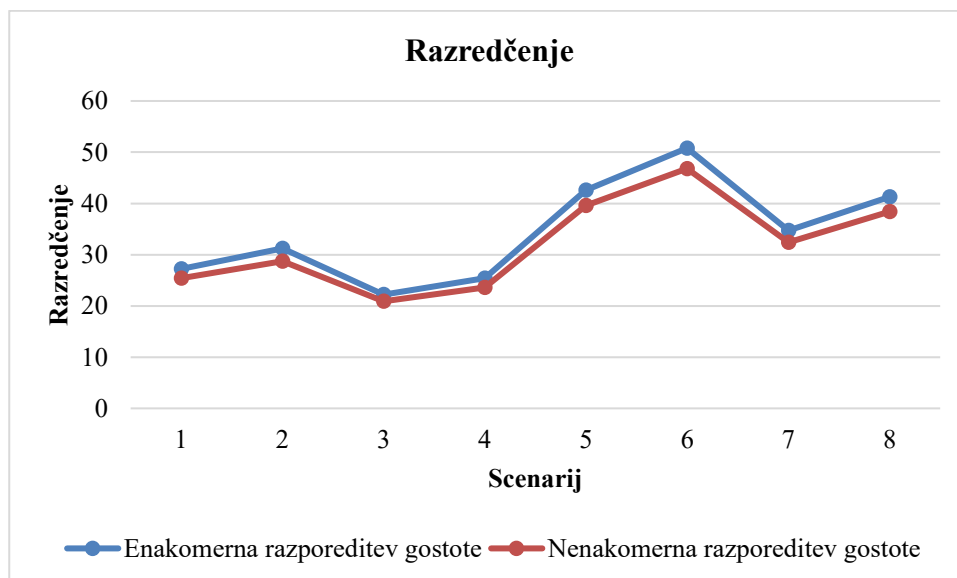
Preglednica 17: Vhodni podatki za neenakomerno razporeditev gostote – Primer 2

Globina [m]	Temperatura vode [°C]	Slanost [psu]	Gostota [kg/m ³]
0,5	24,67	36,96	1024,6
5	24,6	36,99	1024,65
15	21,26	37,71	1025,95
21	19,39	38,09	1026,75

Preglednica 18: Rezultati simulacij v CORMIXU za različne scenarije za neenakomerno razporeditev gostote – Primer 2: poletne razmere s pretokom slanice 240 l/s

Scenarij	Ua [m/s]	D0 [m]	Tip konfiguracije	θ [°]	ΔC [g/l]	Razredčenje	Karakteristični polmer [m]	Površina [m ²]
1	0,087	0,13	A	45	1,50	25,4	8,4	1907,4
2		0,13	A	60	1,33	28,7	7,9	1786,3
3		0,14	A	45	1,82	20,9	7,6	1689,6
4		0,14	A	60	1,01	23,6	7,1	1571,6
5	0,155	0,13	A	45	0,96	39,6	9,7	2225,4
6		0,13	A	60	0,81	46,8	10,3	2406,5
7		0,14	A	45	1,17	32,4	8,6	1953,9
8		0,14	A	60	0,99	38,4	9,1	2093,0

Iz rezultatov je razvidno, da je stopnja razredčenja nekoliko manjša pri gostotni stratifikaciji, vendar je v vseh primerih $\Delta C < 1,91$, kar pomeni, da razredčenje zadošča. Posledično so tudi površine bližnjega območja nekoliko manjše. Grafični prikaz primerjave razredčenja pri enakih scenarijih pri različnih pogojih stratifikacije je prikazan na grafikonu 16. Razlike v rezultatih so manjše od natančnosti vhodnih podatkov in zato tudi od natančnosti, ki jo lahko dosežemo z modelom CORMIX s podatki, ki smo jih imeli na razpolago. Pred nadaljnjim modeliranjem zato priporočamo visokofrekvenčne meritve fizikalno kemijskih parametrov na potencialni lokaciji razsoljevalne naprave po celotnem vodnem stolpcu, nato pa natančnejši izračun stratifikacije in šele potem nadaljnje modelne simulacije in analize v realnem poletnem stratificiranem stanju.

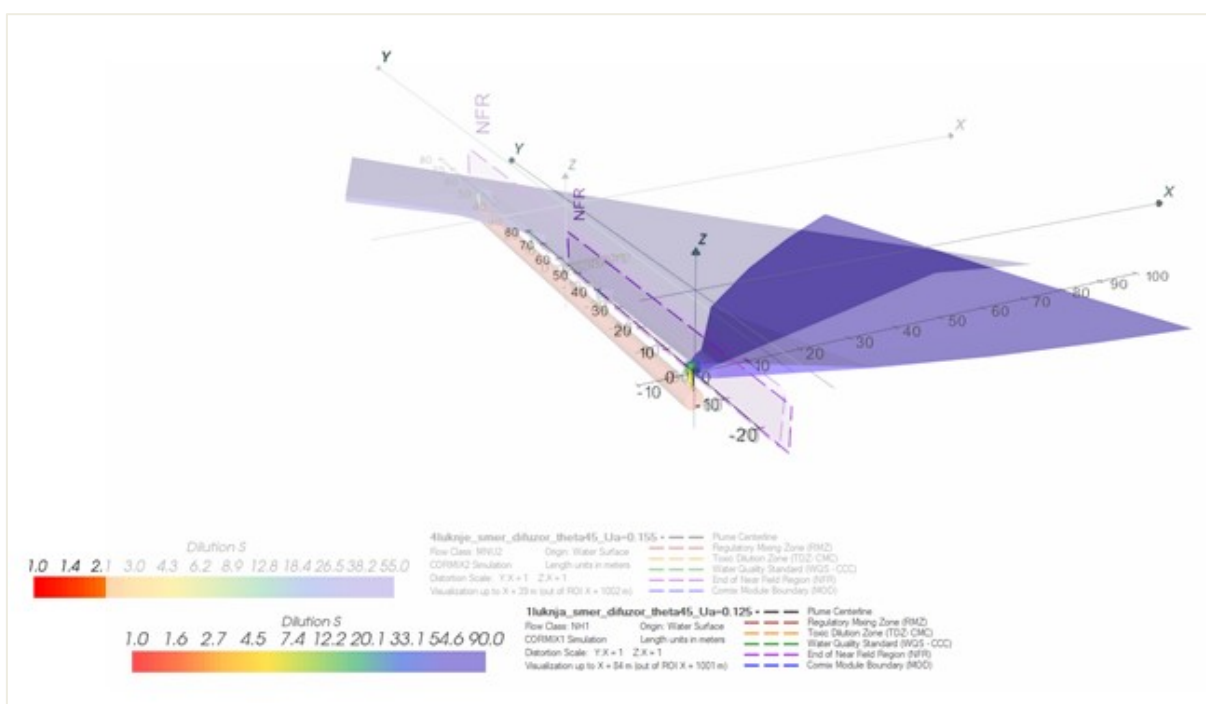


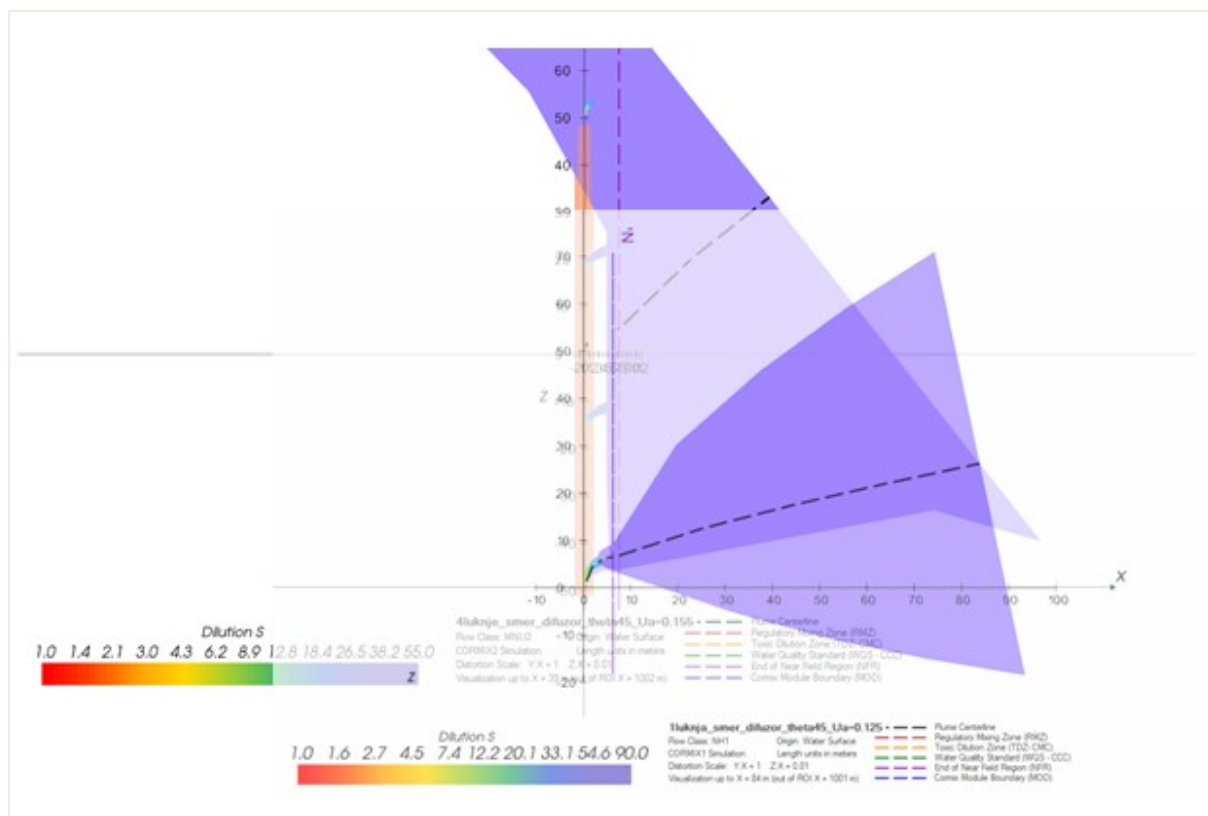
Grafikon 16: Grafični prikaz primerjave razredčenja za enake scenarije pri enakomerni in neenakomerni razporeditvi gostote za konfiguracijo tipa A za Primer 2

4.3 Optimizacija

Naš cilj je bil poiskati optimalno konfiguracijo izpusta, ki bi omogočala zadostno stopnjo razredčenja na čim manjši razdalji od izpusta v primeru delovanja samo enega ali štirih modulov razsoljevalne naprave hkrati. Najprej smo v modelu pognali simulacije za različne scenarije v primeru izpusta z eno odprtino (Primer 1). Prišli smo do ugotovitve, da je optimalna konfiguracija izpusta tipa B, oziroma izpust, kjer je šoba usmerjena v nasprotno smer smeri okoliškega toka ($\sigma = 180^\circ$), vertikalni kot znaša $\theta = 45^\circ$ in premer odprtine znaša $D_0 = 0,13$ (scenarija 2 in 22). Nato smo postopek ponovili za izpust s štirimi odprtinami (Primer 2). V tem primeru se je za optimalno konfiguracijo izpusta izkazal tip A oziroma stopenjski difuzor s štirimi šobami, ki kažejo v smer linije difuzorja ($\beta = 0^\circ$) s sledečo geometrijo: premer odprtine znaša $D_0 = 0,14$ m in vertikalni kot $\theta = 45^\circ$ (scenarija 7 in 19, obseg bližnjega območja 1776,2 in 2069,1 m²). Po pričakovanjih se je izkazalo, da so velikosti površin v Primeru 2 občutno večje. Iz tega sledi, da predstavlja Primer 2 kritični primer. Zato je bilo potrebno poiskati tako geometrijo enojnega izpusta, ki bo skladna z optimalno geometrijo izpusta s štirimi odprtinami in bo hkrati podajala čim manjšo površino.

Konfiguracija tipa B Primera 1 ni skladna s tipom A Primera 2, zato smo poiskali prvo (nanašajoč na najmanjšo površino) skladno kombinacijo tipa konfiguracije z ustrezno geometrijo. Prišli smo do ugotovitve, da je optimalna izbira sledeča: konfiguracija tipa A s premerom odprtine $D_0 = 0,14$ m in vertikalnim kotom $\theta = 45^\circ$. Slednja ustreza scenarijema 11 in 31 Primera 1 (površini bližnjega območja znašata 230,9 m² in 242 m²). Na sliki 40 je prikazana primerjava razredčenja med scenarijem 31-Primer 1 in scenarijem 19-Primer 2. Razvidno je, da se v primeru izpusta z eno odprtino, širina oblaka s povečano slanostjo postopoma povečuje z oddaljenostjo od curka in, da se oblak širi samo v smer okoliškega toka. Območji mešanja (bližnji območji pri pretoku 240 l/s in 60 l/s) se v obeh parih obravnavanih primerov v veliki meri prekrivata, zato je skupna površina prizadetega območja v obravnavanih razmerah vedno manjša od 2300 m².





Slika 40: Grafični prikaz primerjave razredčenja iztočnih curkov (aksonometrija zgoraj, tloris XY spodaj)-scenarij 31-Primer 1 in scenarij 19-Primer 2

5 ZAKLJUČEK

S preliminarnimi računi s kalkulatorji, ki temeljijo na nomogramih, smo pridobili prve rezultate redčenja in obsega bližnjega območja, ki pa so po navedbah avtorjev zgolj orientacijski. Podrobnejši račun bližnjega območja ob izpustu smo zato izvedli z modelom CORMIX. Rezultati kažejo, da ima posamezna geometrijska lastnost izpusta znaten vpliv tako na velikost površine bližnjega območja, kot na presežek koncentracije soli na njegovem robu. Kot najpomembnejši parameter mešanja se je izkazala okoliška hitrost toka. Manjše površine bližnjega območja pomenijo večjo slanost na robu območja. S simulacijami v razmerah, ki so izrazito neugodne za mešanje in ob visokih okoliških slanostih smo ocenili, da bi v primeru izpusta slanice v količini 240 l/s prek difuzorja s štirimi odprtinami znašala površina bližnjega območja med 1750 in 2100 m², kar je odvisno od hitrosti okoliškega toka. Pri izpustu 60 l/s slanice prek ene odprtine je močno prizadeto območje veliko približno 250 m², ob delnem prekrivanju pa je skupno območje s povišanimi slanostmi vedno manjše od 2300 m². Pričakujemo, da se takšne razmere pojavijo le redko, saj so izračuni izvedeni v neugodnih razmerah za mešanje. Izvedena optimizacija omogoča poleg določitve ustrezne geometrije izpusta tudi določitev vplivnega območja in je lahko v pomoč pri določanju dejanskih vplivov na ekosistem in s tem tudi pri izbiri ustreznih lokacij za postavitev naprave. Z znano velikostjo bližnjega območja torej lahko določimo takšno lokacijo izpusta, da je bližnje območje mešanja ustrezno oddaljeno od meja zaščitene območij.

Dobljeni rezultati lahko služijo kot podlaga za nadaljnje modeliranje procesov mešanja v oddaljenem območju. Pred nadaljnjim modeliranjem priporočamo visokofrekvenčne meritve fizikalno kemijskih parametrov na izbrani (znani) lokaciji razsoljevalne naprave, ki bodo omogočile izvedbo simulacij z modelom CORMIX na dejanski lokaciji. Prav tako je potrebno podrobno poznati celotno tehnologijo priprave vode in delovanje razsoljevalne naprave, saj so v slanici poleg soli lahko prisotne še druge kemikalije, ki se uporabljajo v postopkih predpriprave vode in za vzdrževanje naprave in ki lahko vplivajo na ekološko in kemijsko stanje morja. Ob tem pa je za načrtovanje seveda nujno tudi dobro poznavanje ekoloških procesov ekosistema za verodostojno določitev dejanskega vpliva izpusta.

VIRI

Assessment of potential cumulative environmental impacts of desalination plants around the Mediterranean sea. 2015. Athens, UNEP(DEPI): 84 str.

Background papers and supporting data on the International equation of state of seawater, 1980. 1981. Paris, UNESCO: 193 str.

Bleninger, T., Jirka, G. H. 2010. Environmental planning, prediction and management of brine discharges from desalination plants. Final report. Muscat, Middle East Desalination Research Center: 273 str.

Burns, C. 2013. Important Water-Energy Nexus Considerations: A Sustainability Assessment of Water Supply in Two Municipalities of Costa Brava, Spain. M.A. International Relations & Natural Resources and Sustainable Development, American University: 41 str.

Cipollina, A., Micale, G., Rizzuti, L. (ur.). 2009. Seawater desalination. Berlin, Springer-Verlag

Gogala, I. 2014. Razsoljevanje morske vode. Seminarska naloga. Portorož, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet (samozaložba I. Gogala): 59 str.

Gregorič, E. 2016. Vplivi izpusta slanice iz razsoljevalnih naprav na okolje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba E. Gregorič): 61 str.

Guštin, M. 2018. Tehnologije priprave pitne vode z razsoljevanjem kot dopolnilni vodni vir za vodooskrbo na Obali. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Guštin): 52 str.

Ionski izmenjevalec. 2018. https://sl.wikipedia.org/wiki/Ionski_izmenjevalec (Pridobljeno 10. 10. 2018.)

Kryžanowski, A. 2017. Utemeljitev uvedbe razsoljevanja kot dopolnilni vir za oskrbo s pitno vodo v slovenski Istri: Investicijska dokumentacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 84 str.

Lattemann S. 2010. Development of an environmental impact assessment and decision support system for seawater desalination plants. London, CRC Press: 288 str.

Lu, Z., Xu, L. 2010. Freezing desalination process. Thermal desalination processes 2: 1–7. <http://www.desware.net/sample-chapters/d04/d08-063.pdf> (Pridobljeno 10. 10. 2018.)

Malačič, V., Francé, J., Klun, K. 2016. Mnenje o postopku razsoljevanja morske vode v teritorialnih vodah Slovenije. Interno poročilo. Piran, Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja: 16 str.

Morillo, J., Usero, J., Rosado, D., Bakouri, H., Riaza, A., Bernaola, F. J. 2014. Comparative study of brine management technologies for desalination plants. Desalination 336: 32–49.

Poje, M., Sever, M. 2015. Ocena kemijskega in ekološkega stanja morja ter kakovosti vode v gojiščih školjk v Sloveniji v letu 2014. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenija za okolje: 17 str. http://www.arso.gov.si/vode/morje/MORJE%202014_splet%20K.pdf (Pridobljeno 9. 8. 2018.)

Pravilnik o določitvi delov morja, kjer je kakovost vode primerna za življenje in rast morskih školjk in morskih polžev. Uradni list RS št. 38/2015.

Pravilnik o monitoringu kakovosti površinske vode za življenje in rast morskih školjk in morskih polžev. Uradni list RS št. 71/2002.

Salinity and density of SW: tables for high salinities (42-50). 1991. Paris, UNESCO: 62 str.

Sedaj, A. 2006. Določanje cone mešanja z uporabo programskega paketa CORMIX pri točkovnih vtokih v vodno telo. V: Kryžanovski, A. (ur.), Sedaj, A. (ur.). Določanje cone mešanja z uporabo programskega paketa CORMIX pri točkovnih vtokih v vodno telo. Ljubljana, Slovenski nacionalni komite za velike pregrade – SLOCOLD: p. 45–56.

Uredba o kakovosti vode za življenje in rast morskih školjk in morskih polžev. Uradni list RS št. 52/2007.

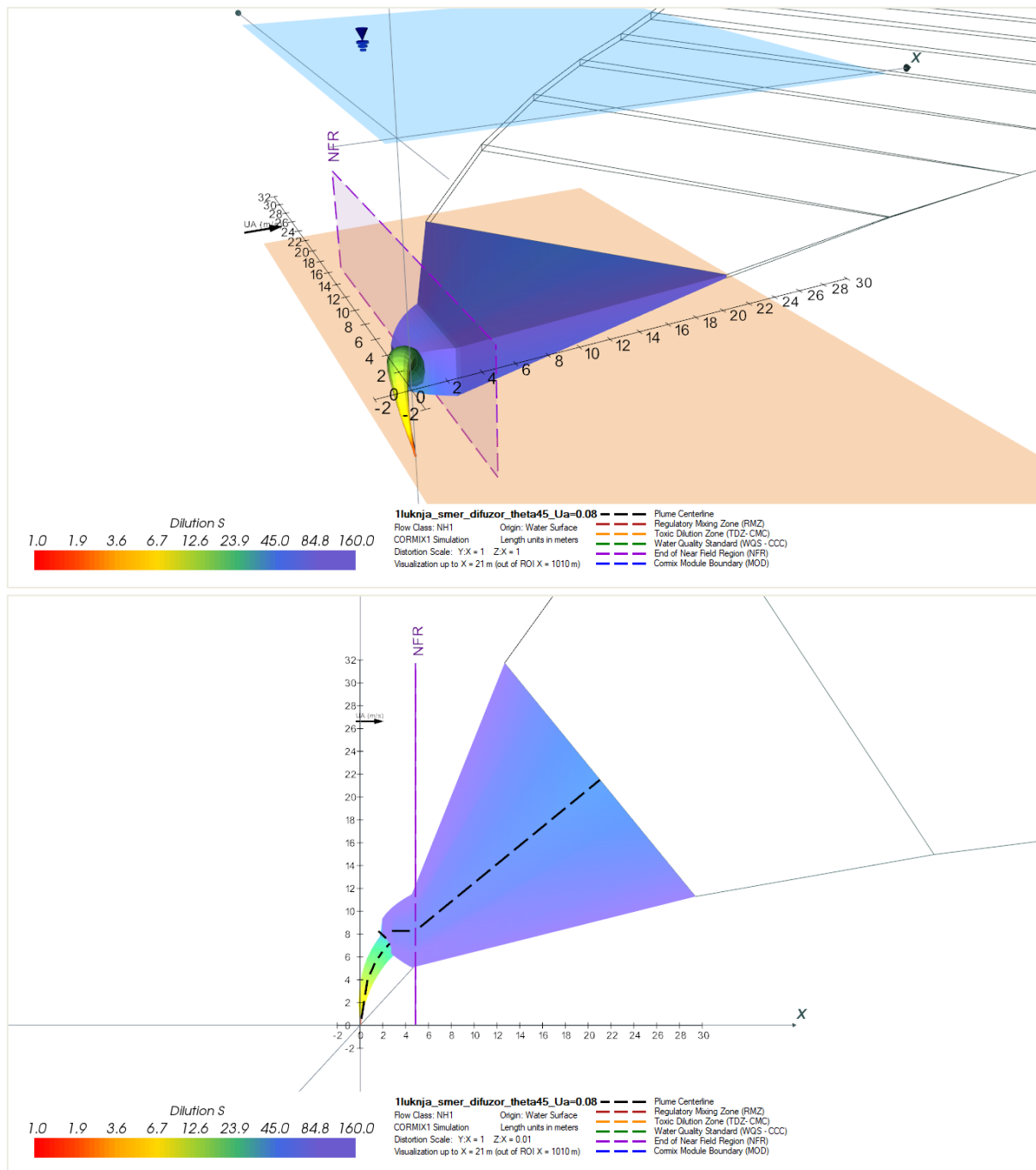
Tabatabai, S. A. A. 2014. Tabatabai, S. A. A. 2014. Coagulation and Ultrafiltration in Seawater Reverse Osmosis Pretreatment. Dissertation. Delft University of Technology, CRC Press/Balkema: 200 str.

SEZNAM PRILOG

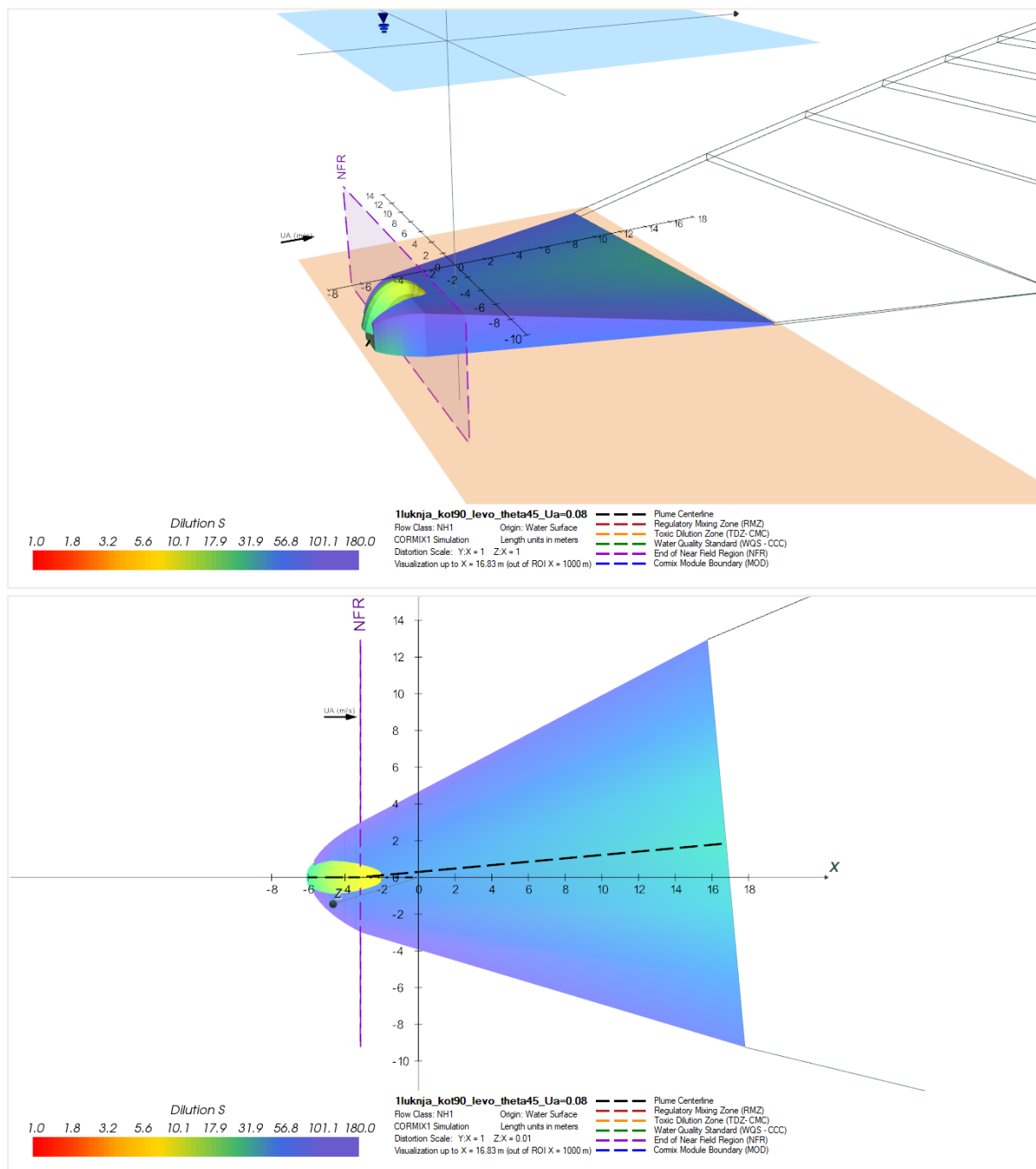
- Priloga A: GRAFIČNI PRIKAZ RAZREDČENJA IZTOČNIH CURKOV-PRIMER 1
(AKSONOMETRIJA ZGORAJ, TLORIS XY SPODAJ)
- Priloga B: GRAFIČNI PRIKAZ RAZREDČENJA IZTOČNIH CURKOV-PRIMER 2
(AKSONOMETRIJA ZGORAJ, TLORIS XY SPODAJ)

PRILOGA A: GRAFIČNI PRIKAZ RAZREDČENJA IZTOČNIH CURKOV-PRIMER 1 (AKSONOMETRIJA ZGORAJ, TLORIS XY SPODAJ)

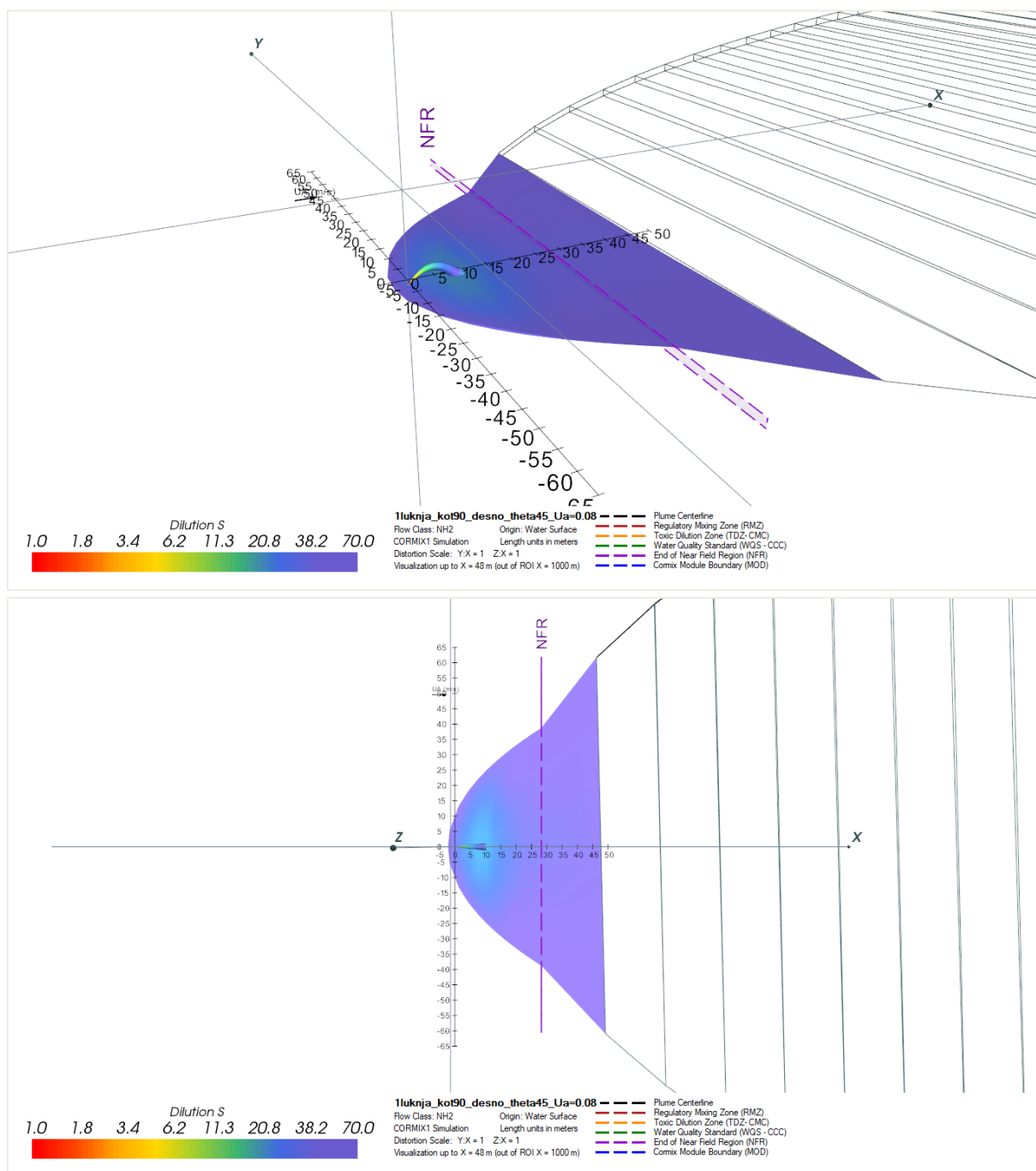
A.1 Scenarij 1–Primer 1



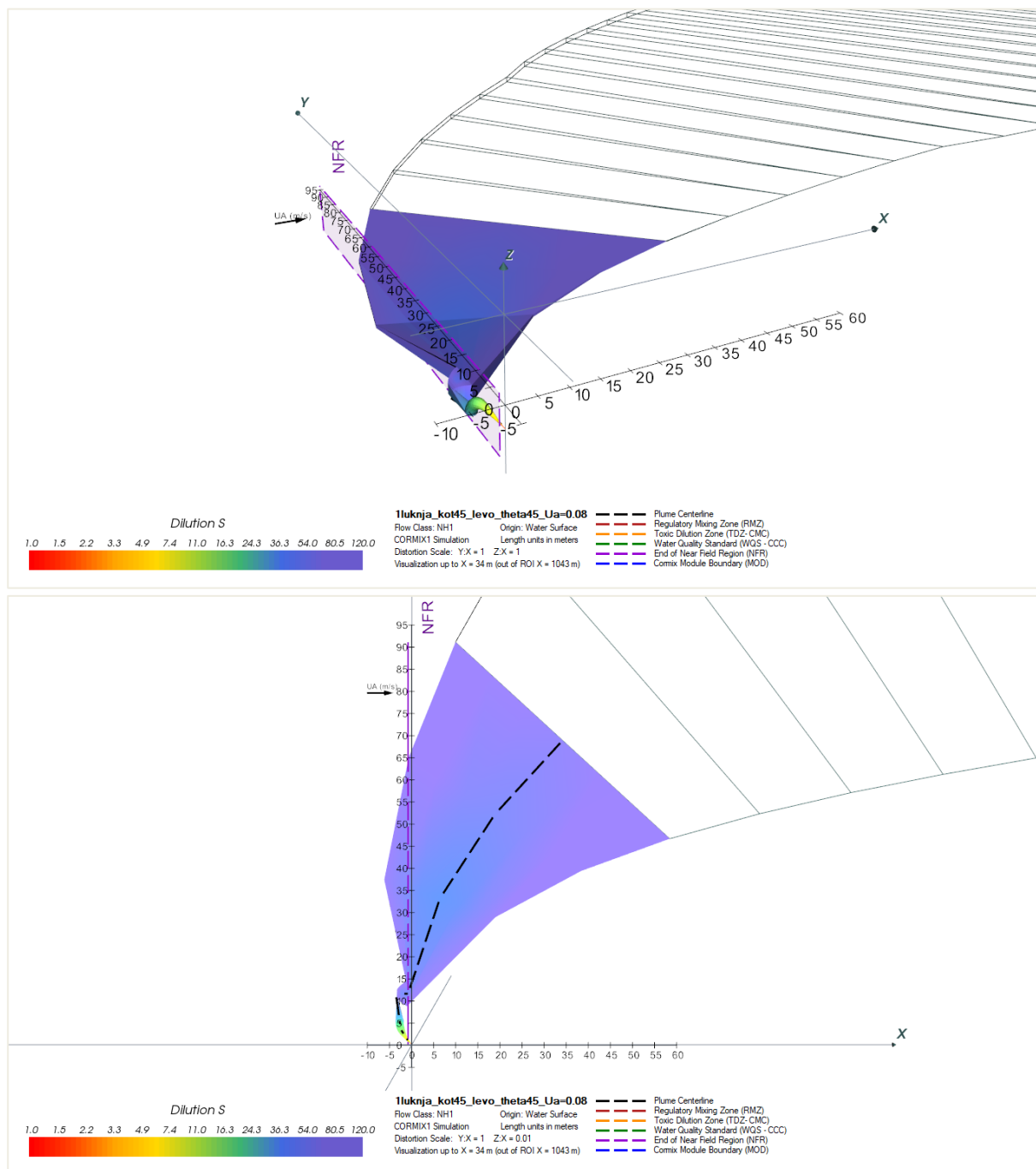
A.2 Scenarij 2–Primer 1



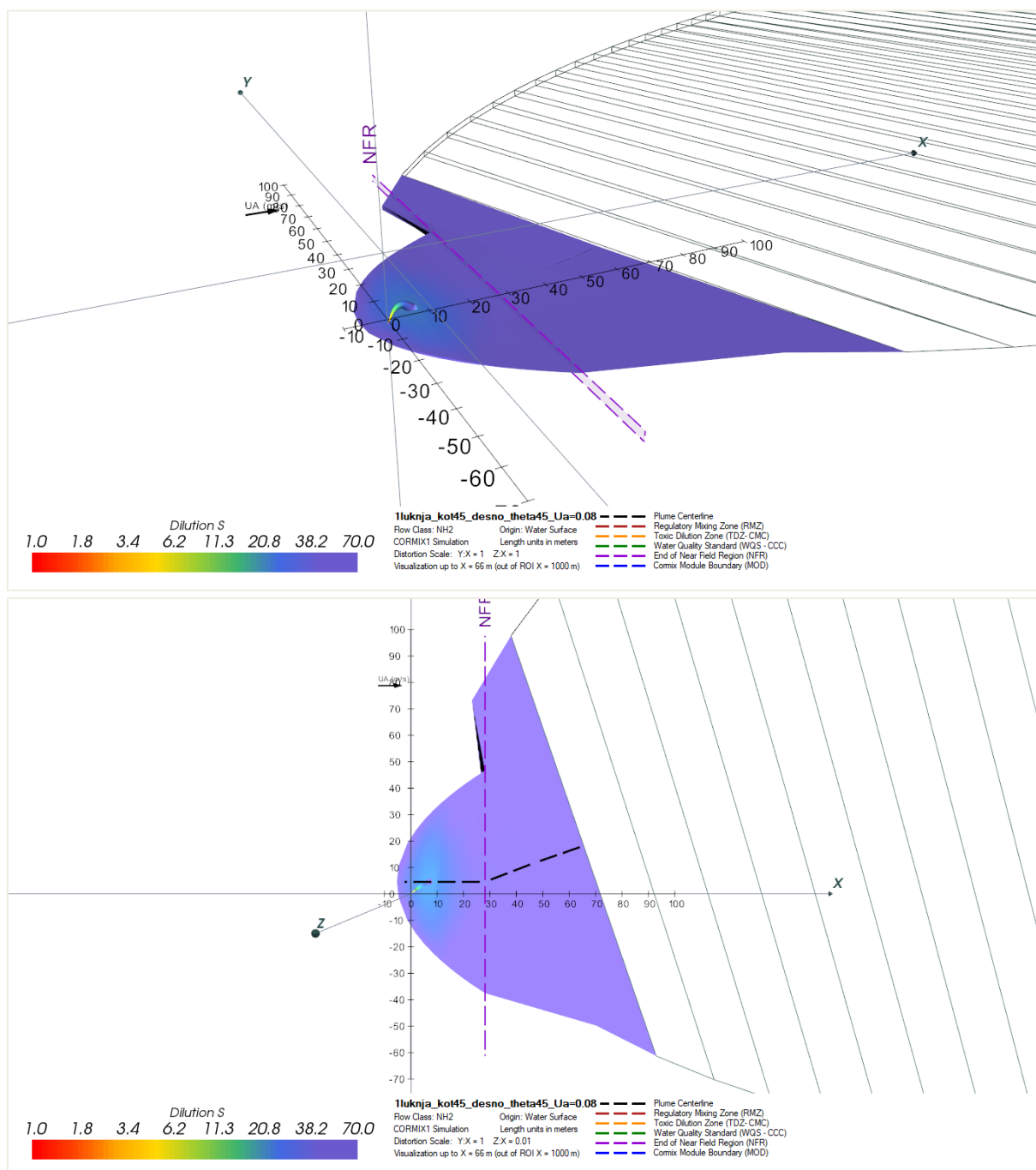
A.3 Scenarij 3–Primer 1



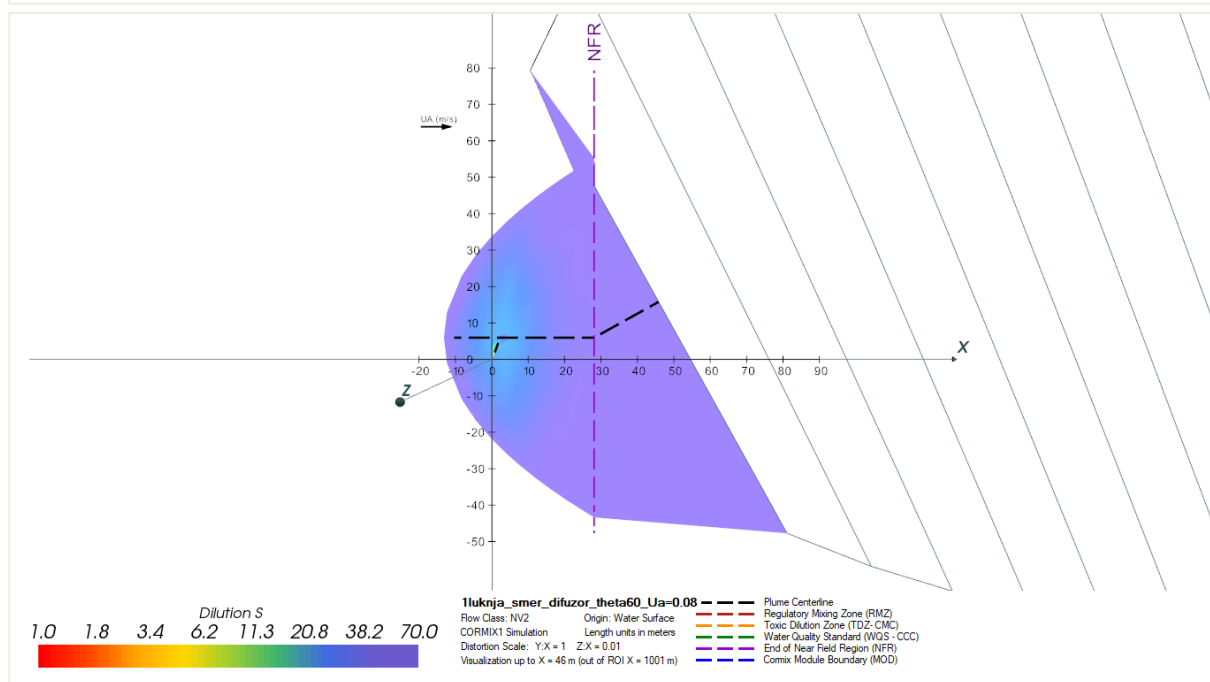
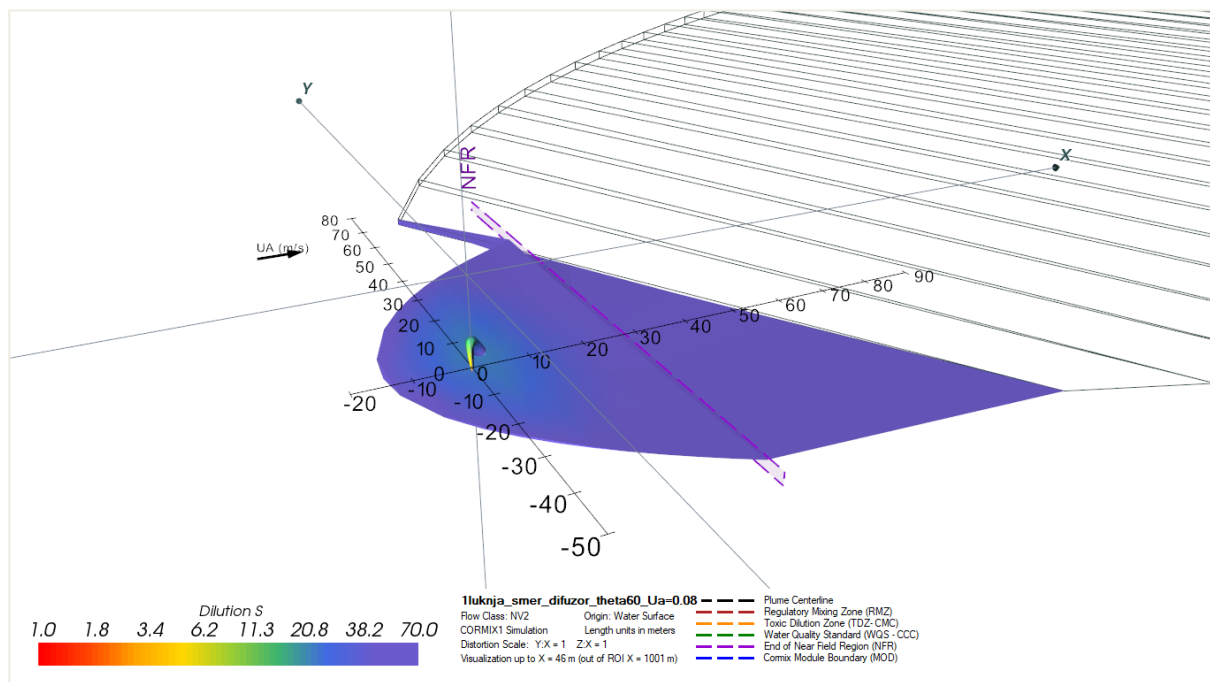
A.4 Scenarij 4–Primer 1



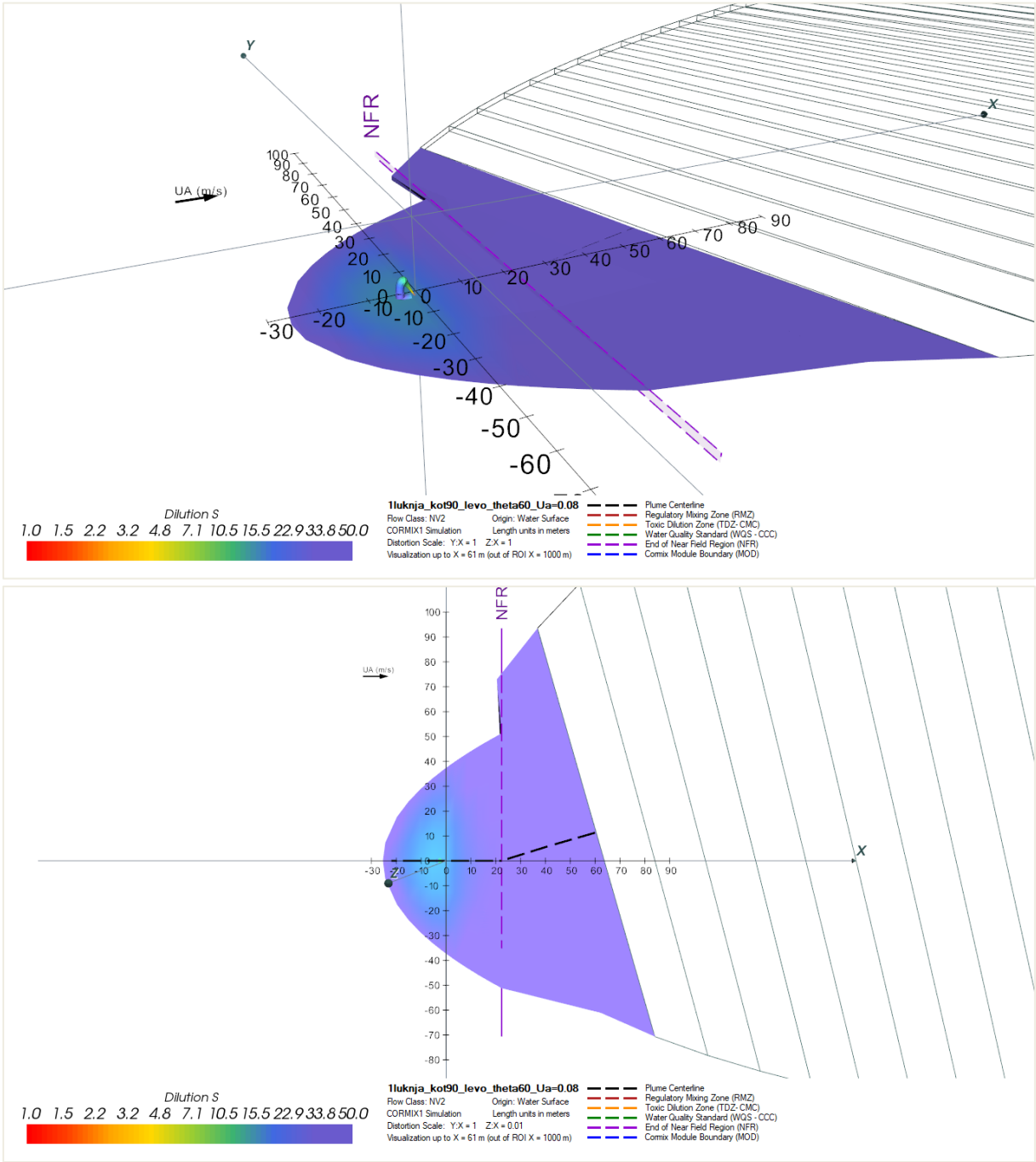
A.5 Scenarij 5–Primer 1



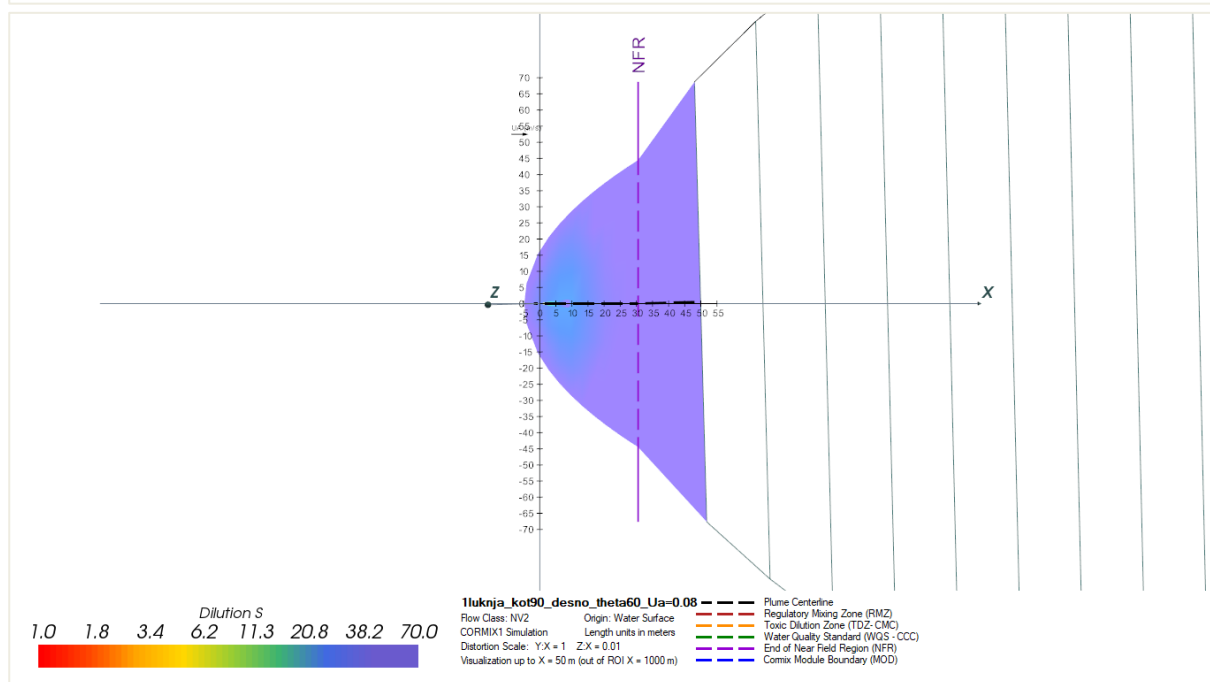
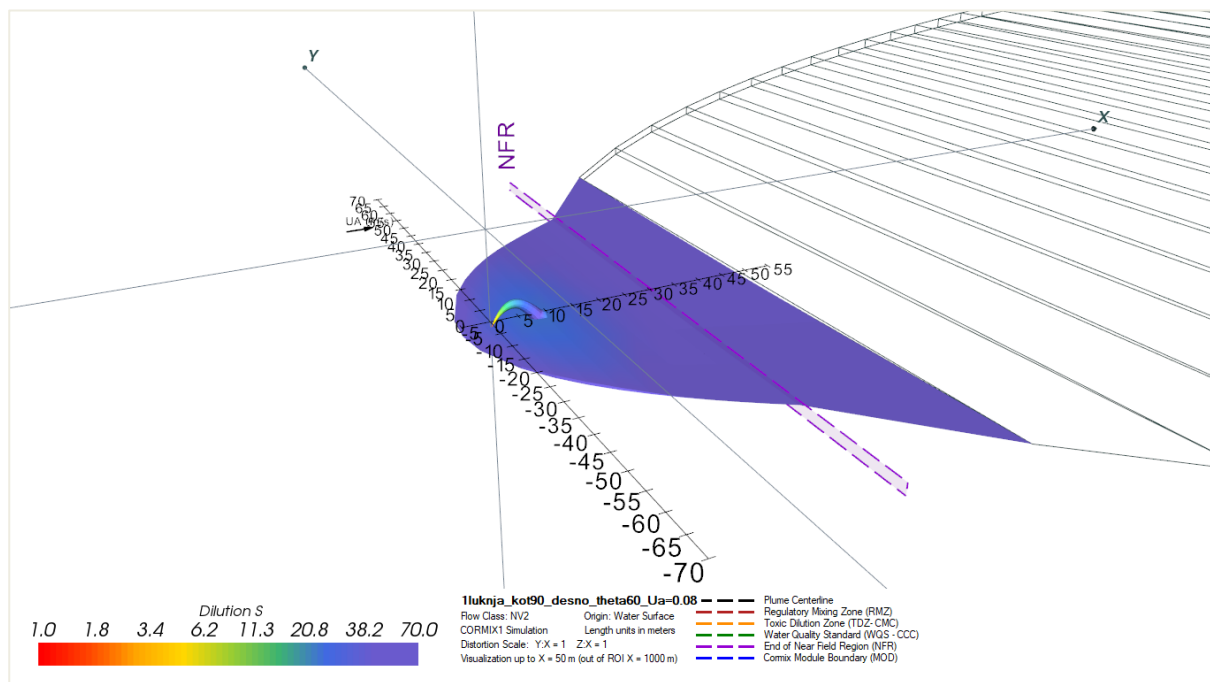
A.6 Scenarij 6–Primer 1



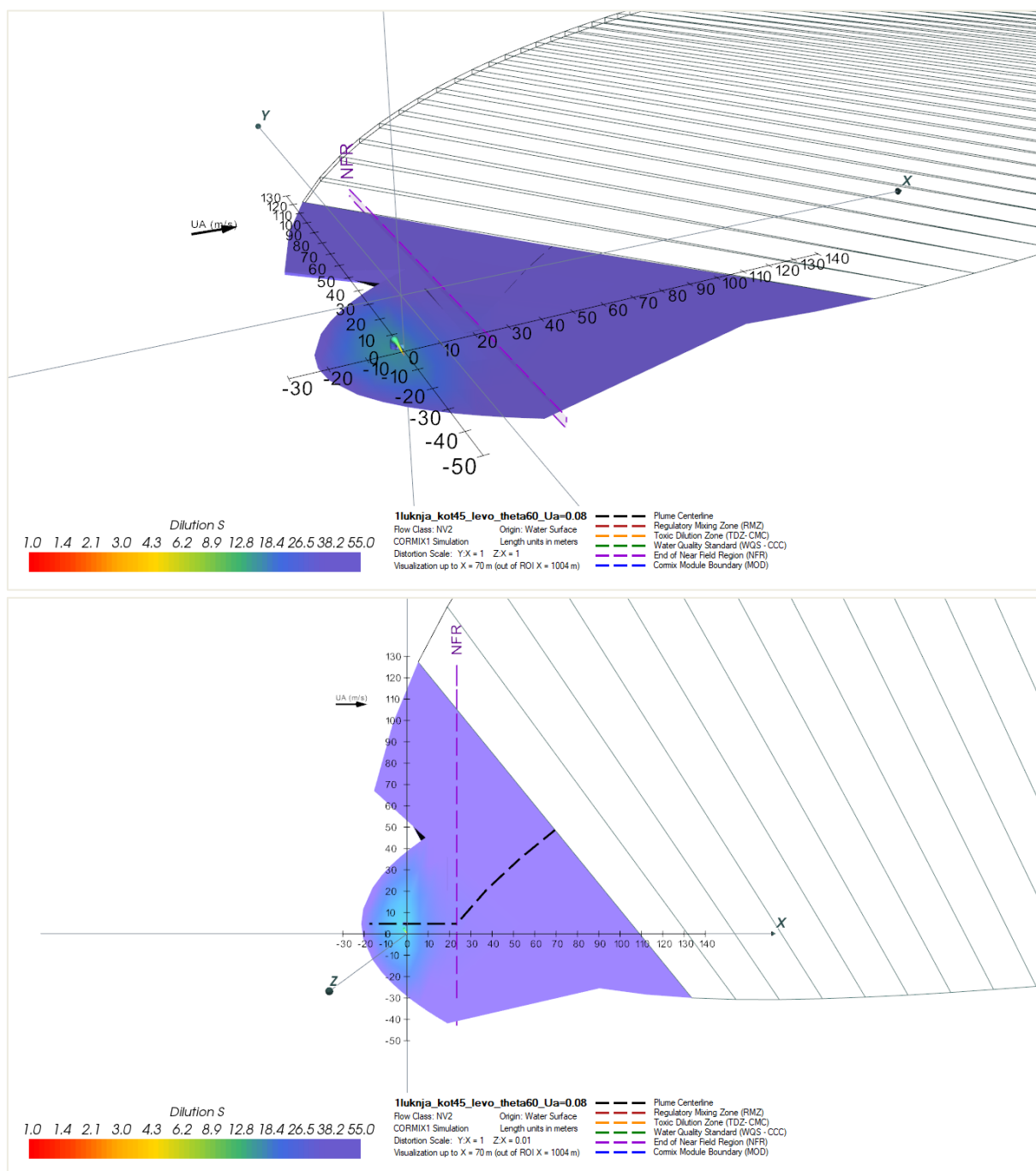
A.7 Scenarij 7–Primer 1



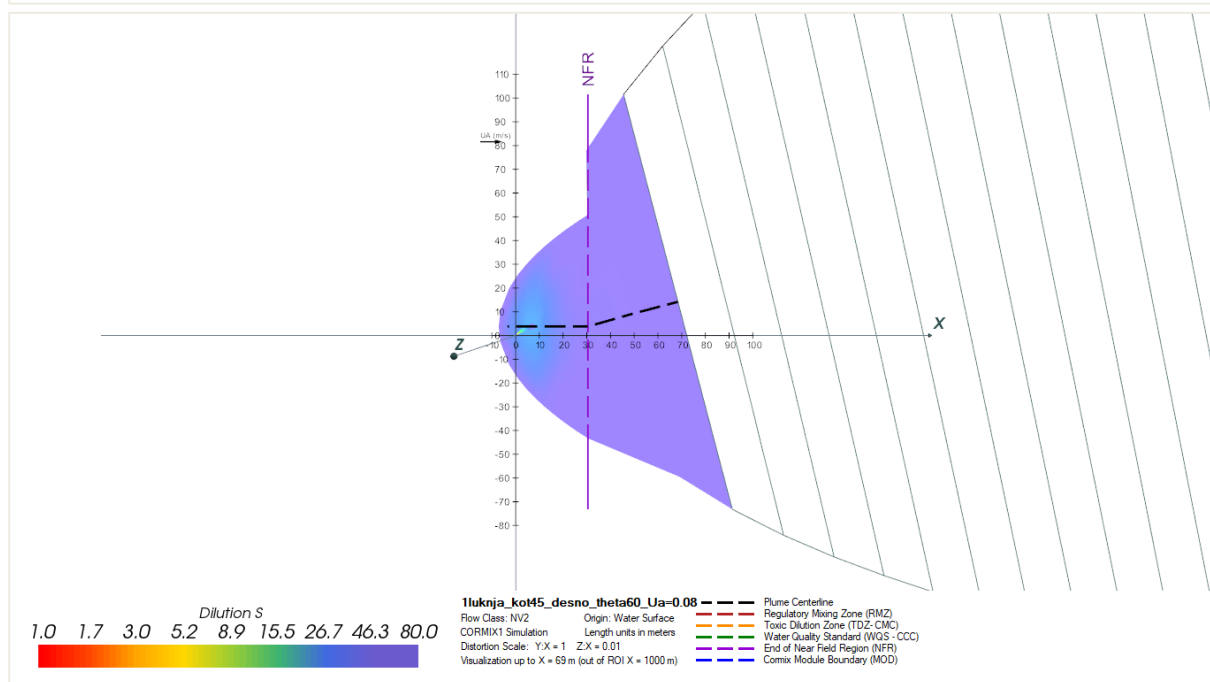
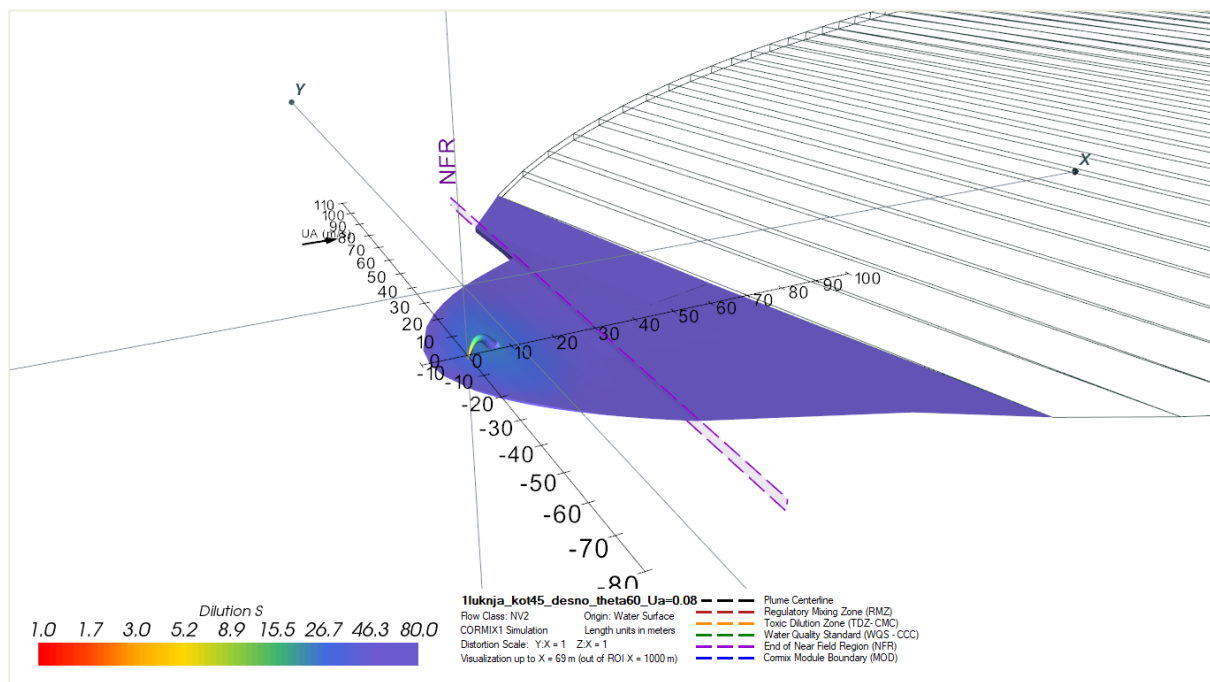
A.8 Scenarij 8–Primer 1



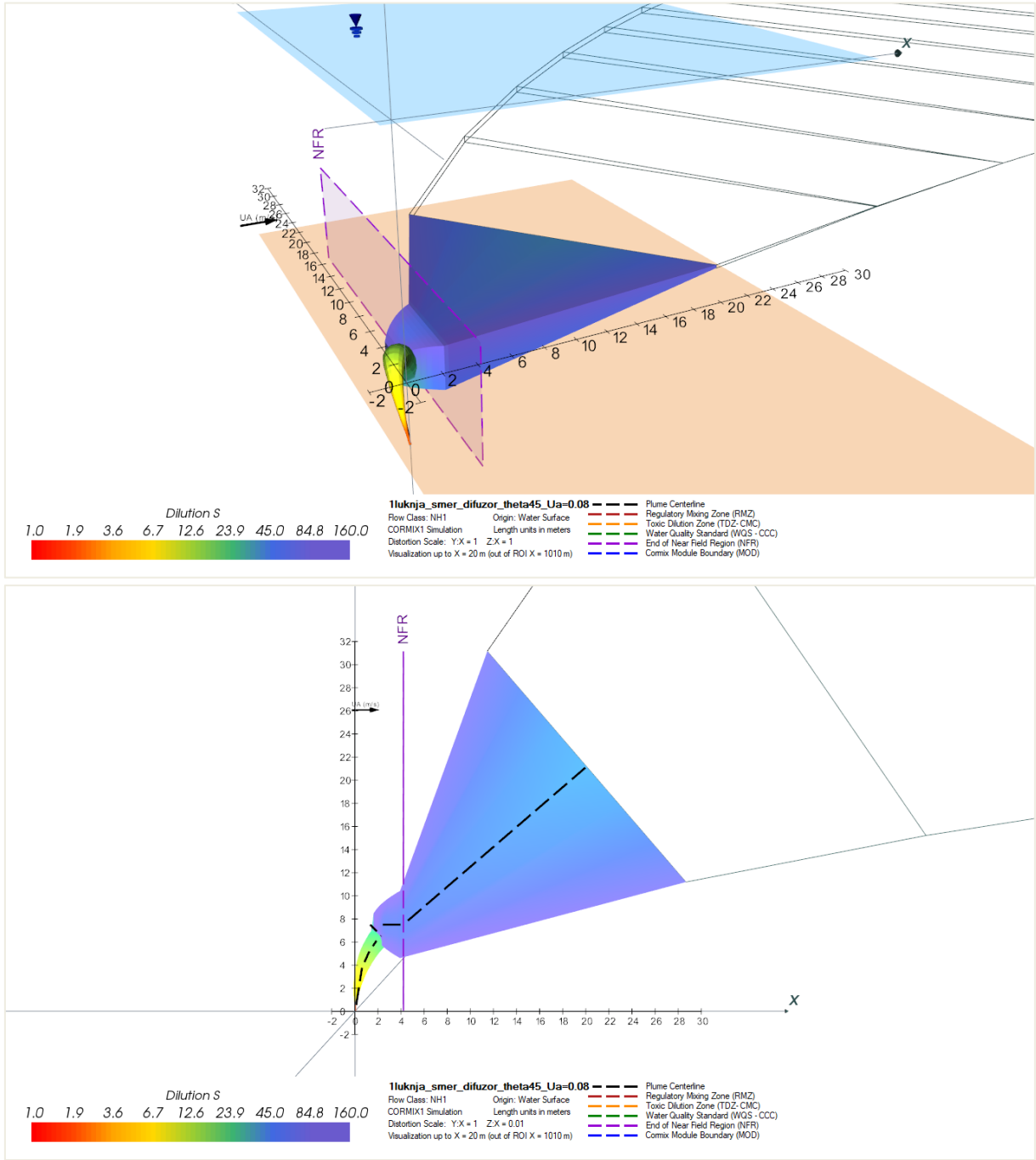
A.9 Scenarij 9–Primer 1



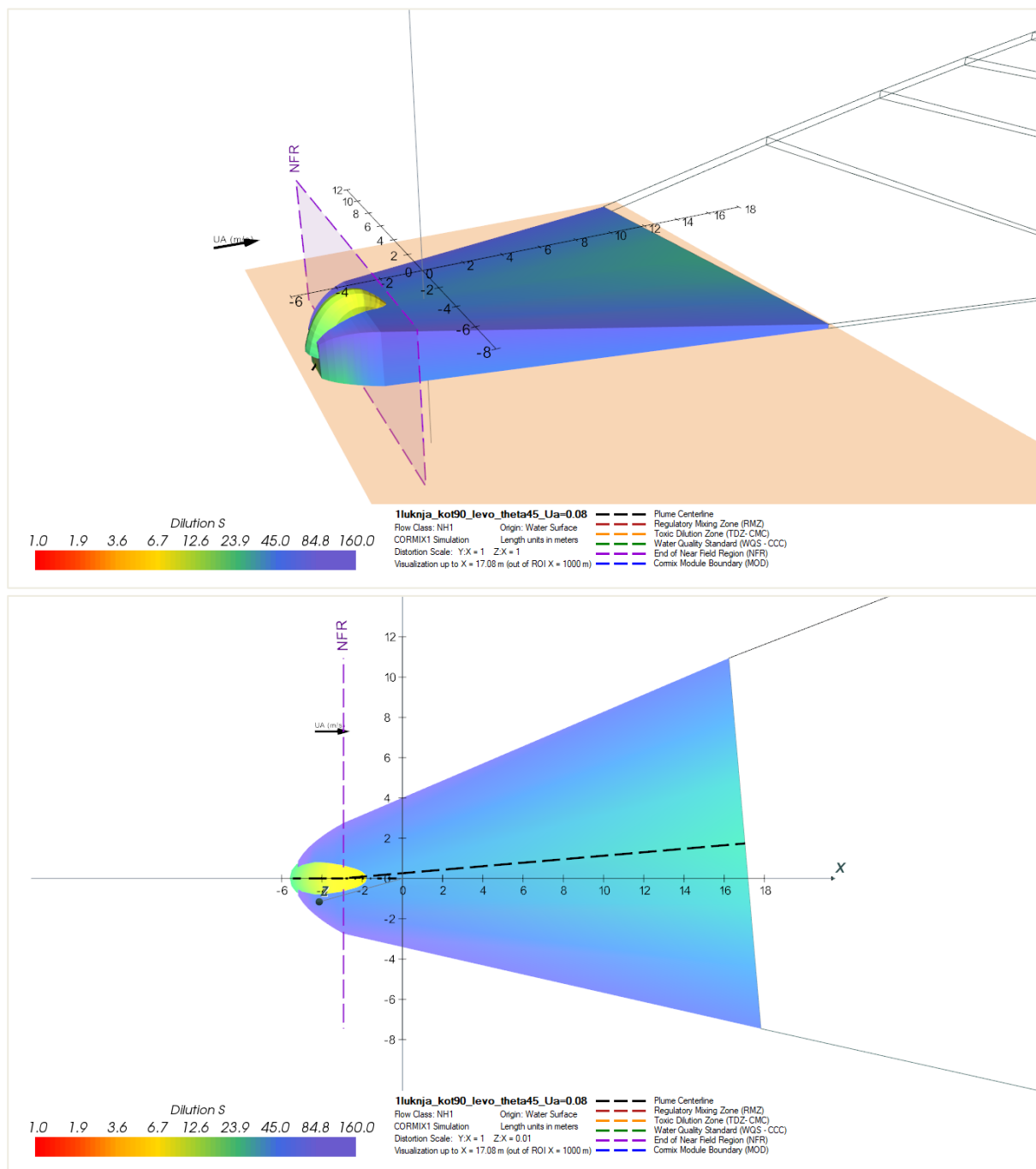
A.10 Scenarij 10–Primer 1



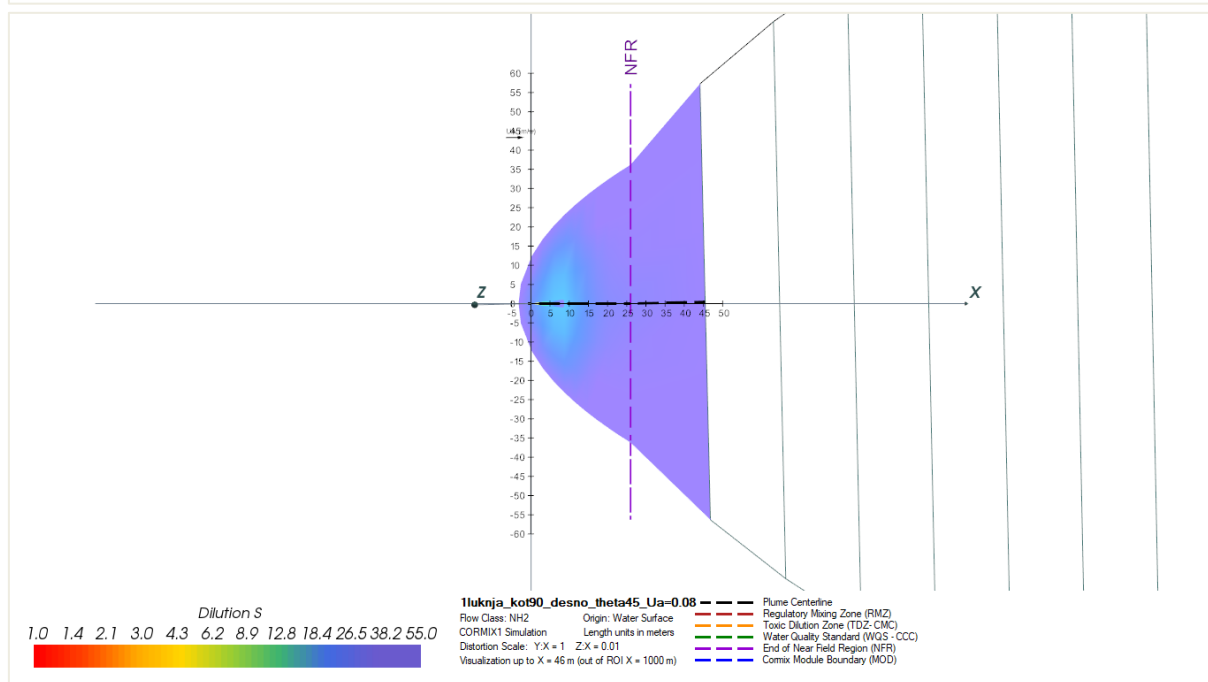
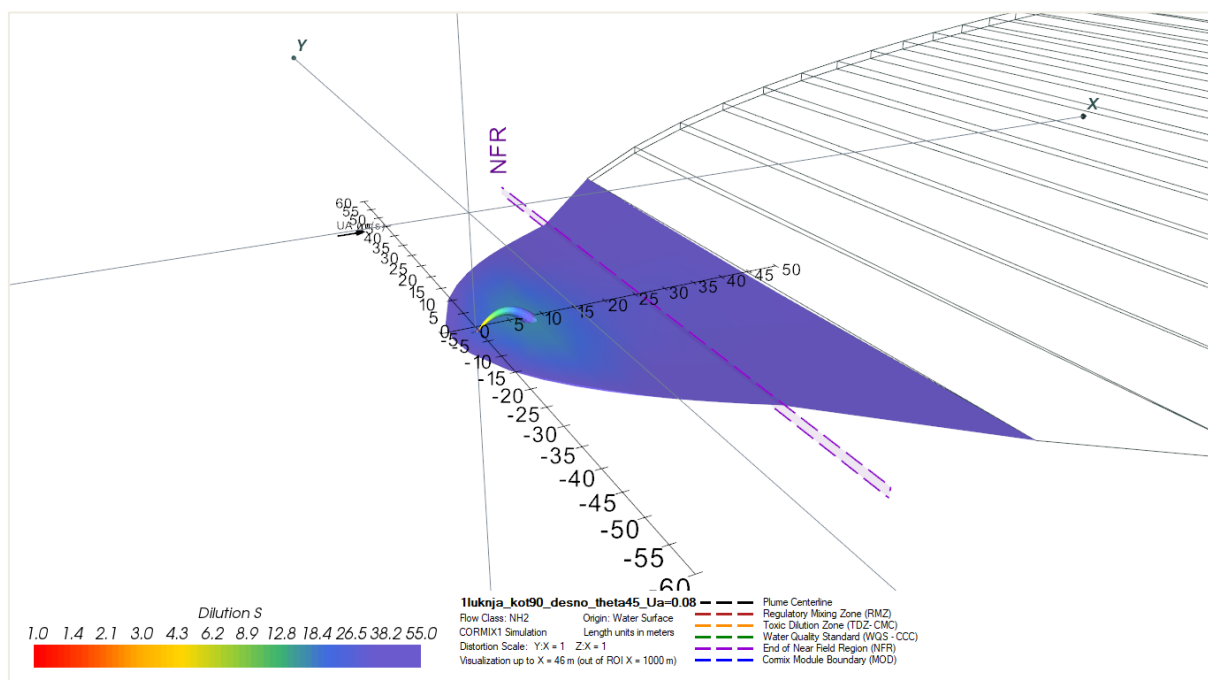
A.11 Scenarij 11–Primer 1



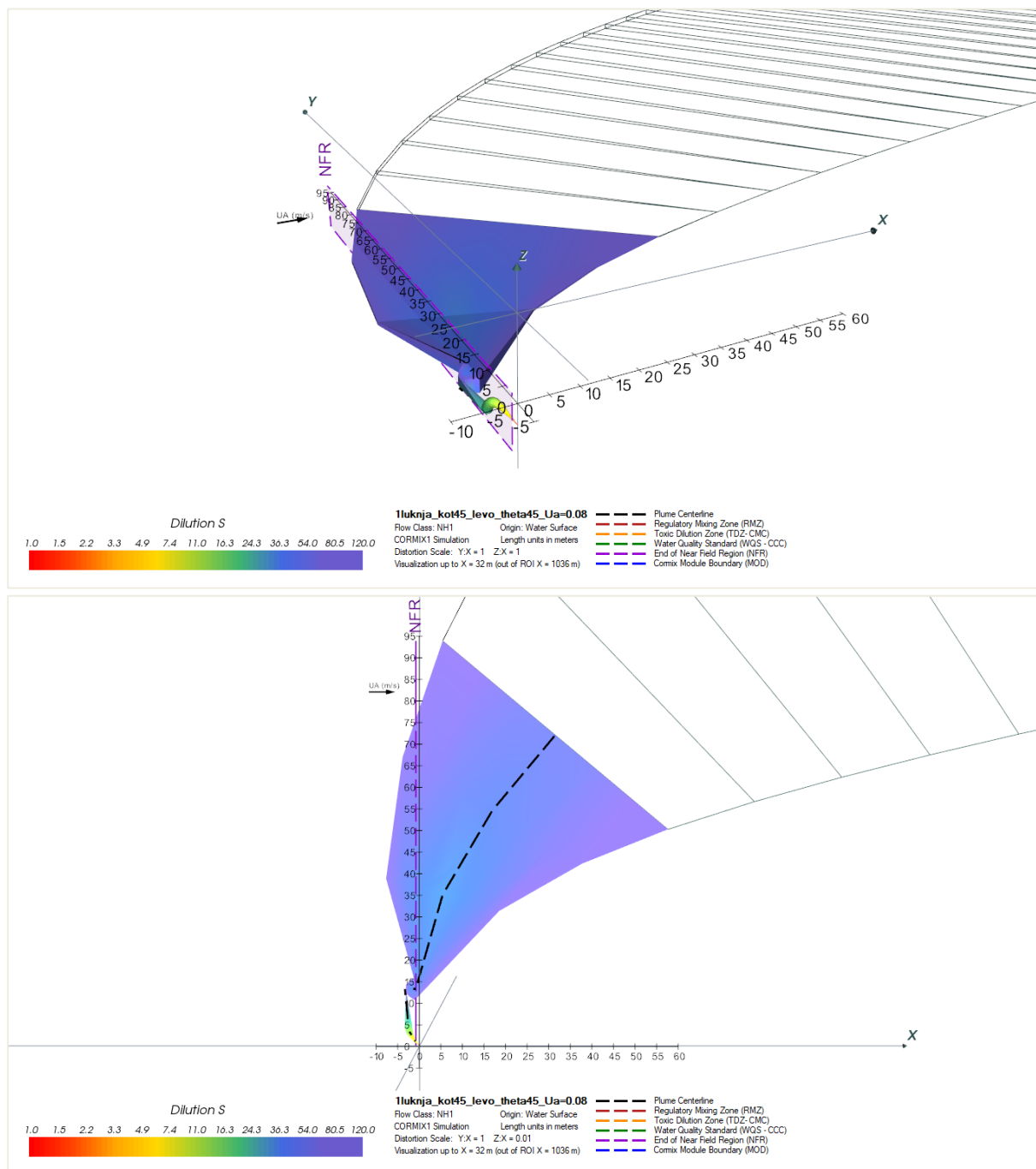
A.12 Scenarij 12–Primer 1



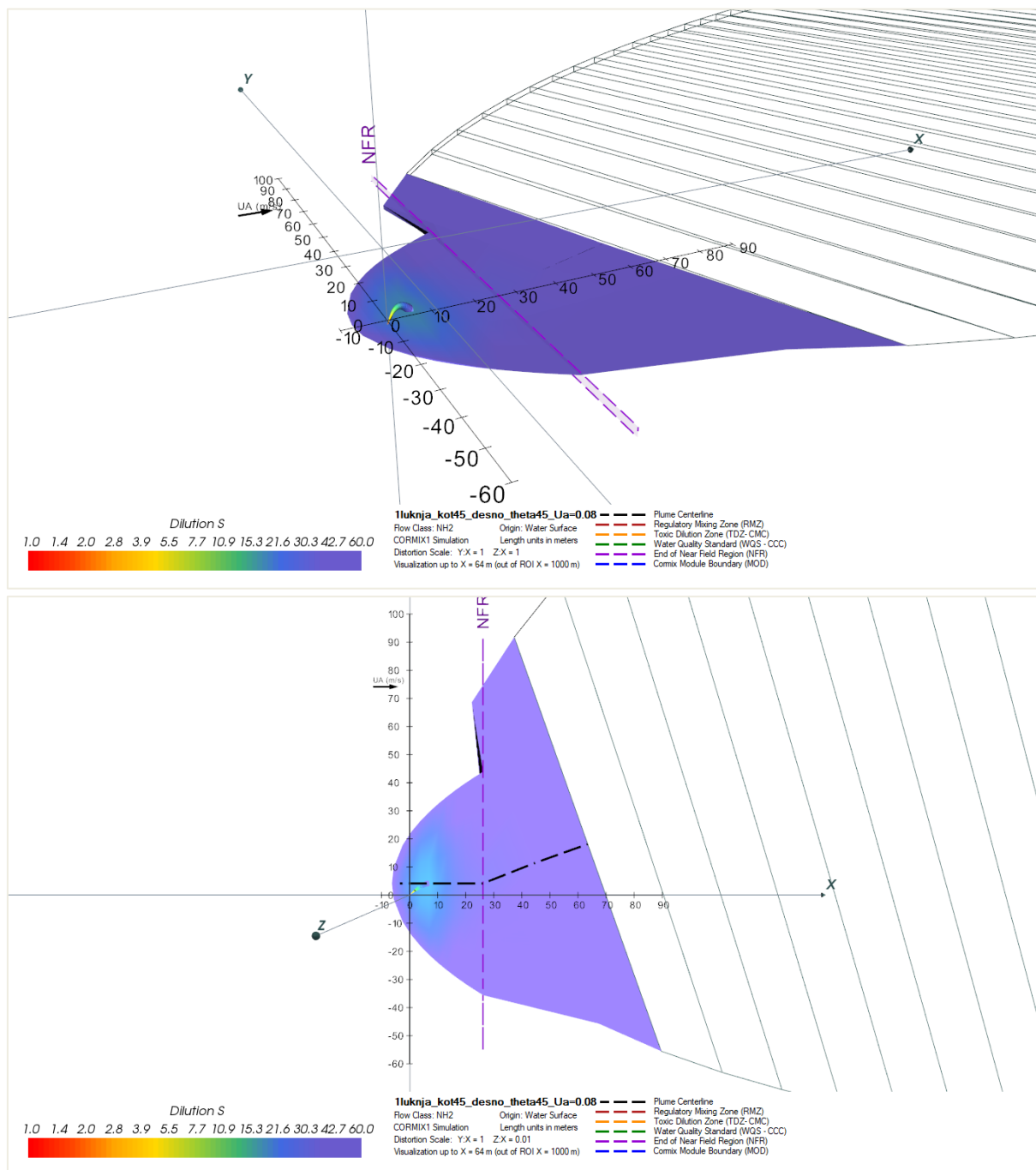
A.13 Scenarij 13–Primer 1



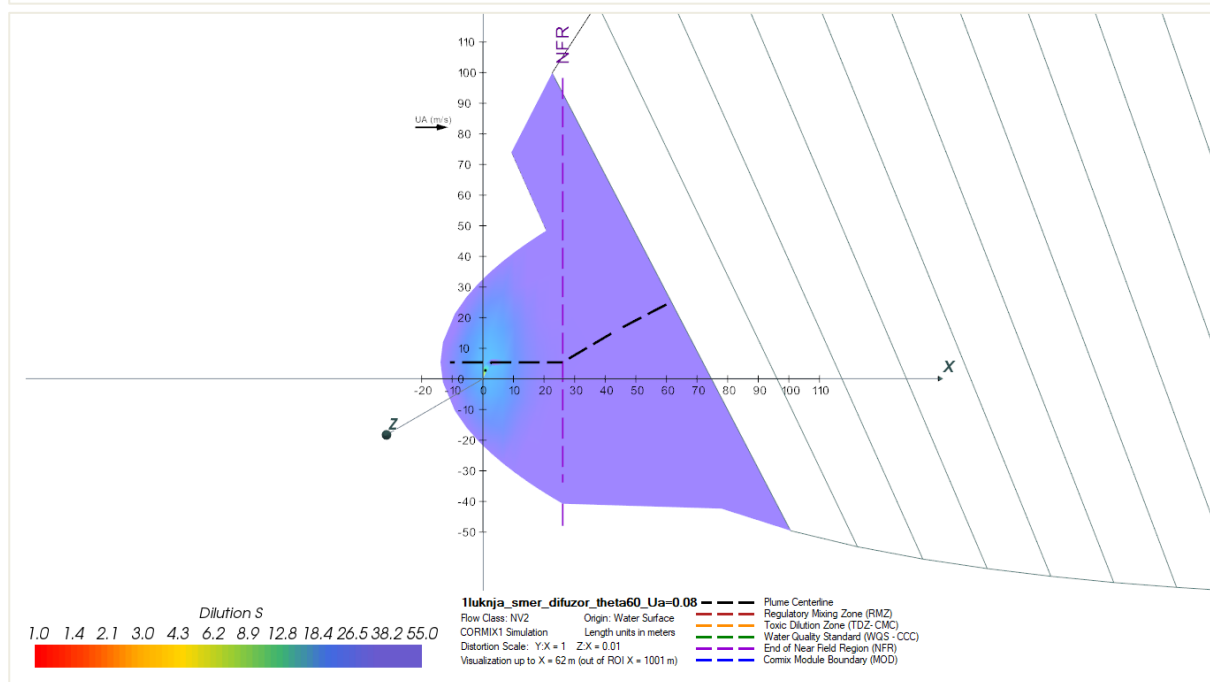
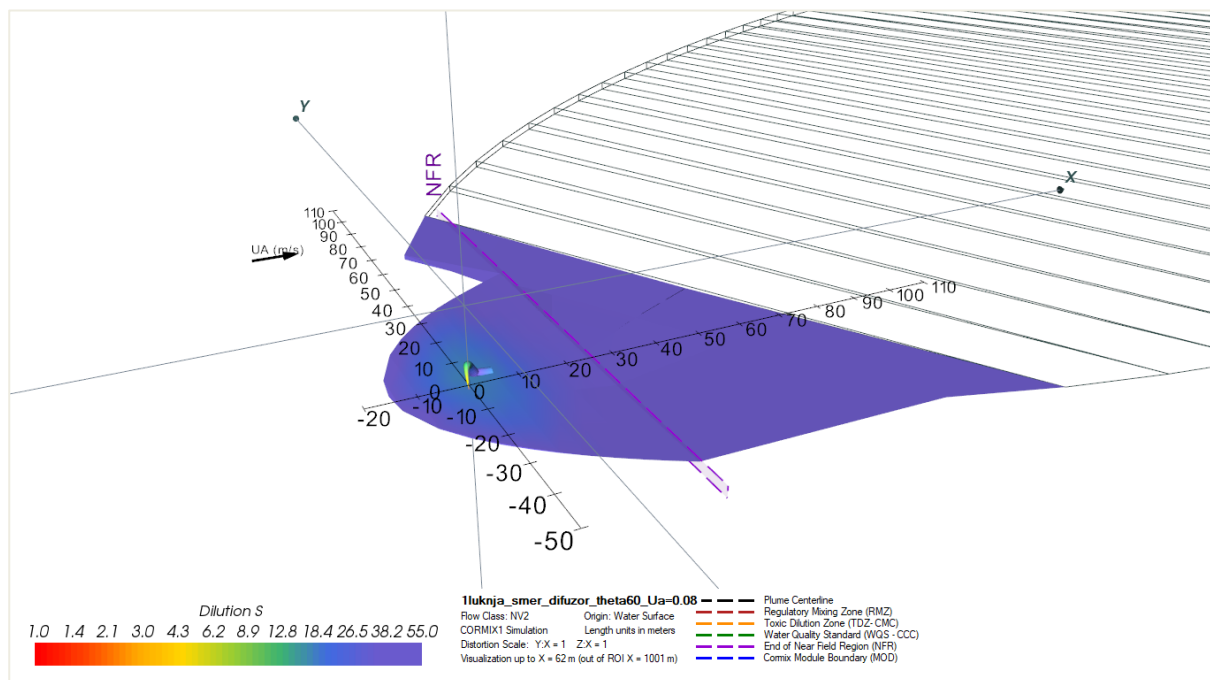
A.14 Scenarij 14–Primer 1



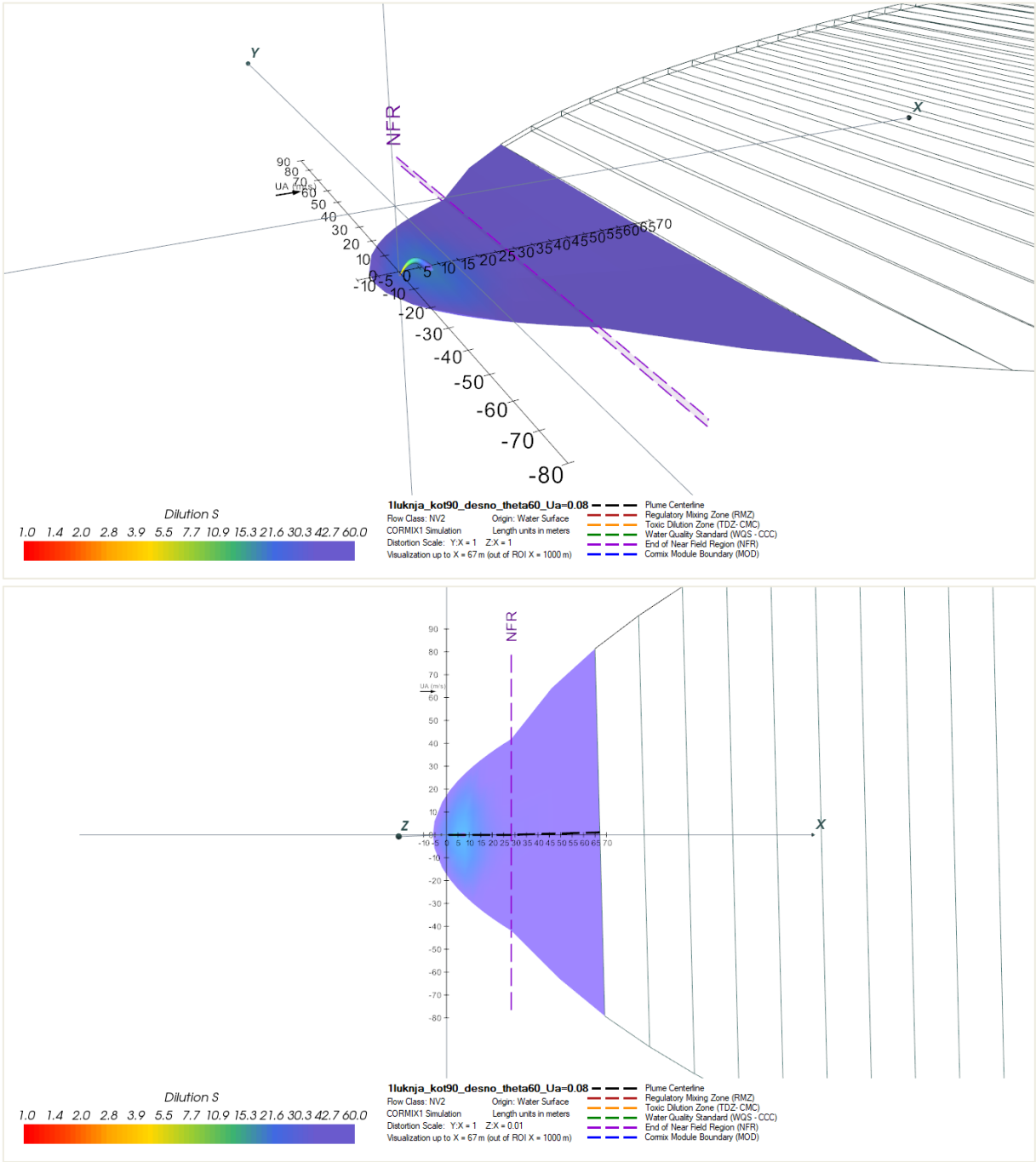
A.15 Scenarij 15–Primer 1



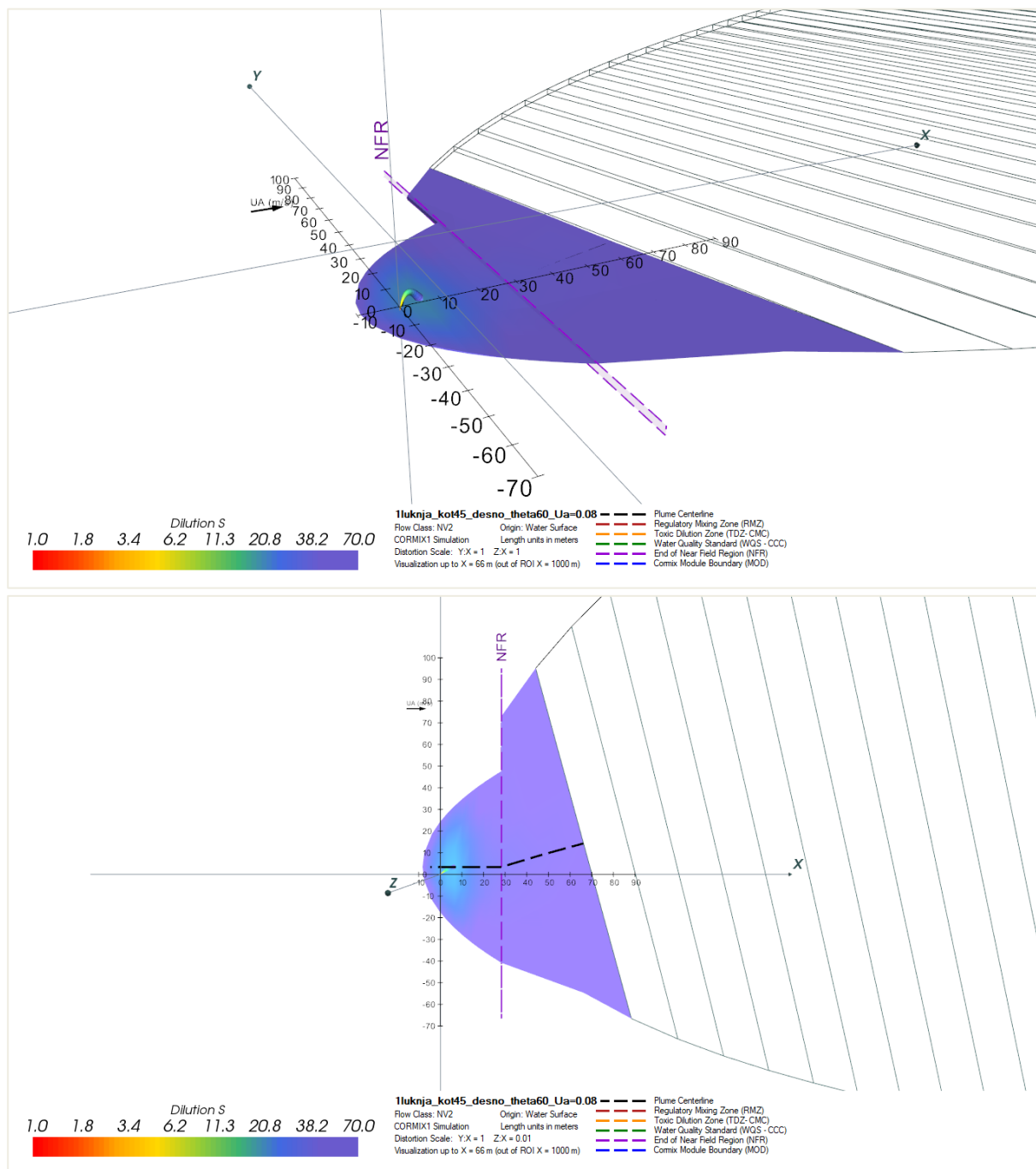
A.16 Scenarij 16–Primer 1



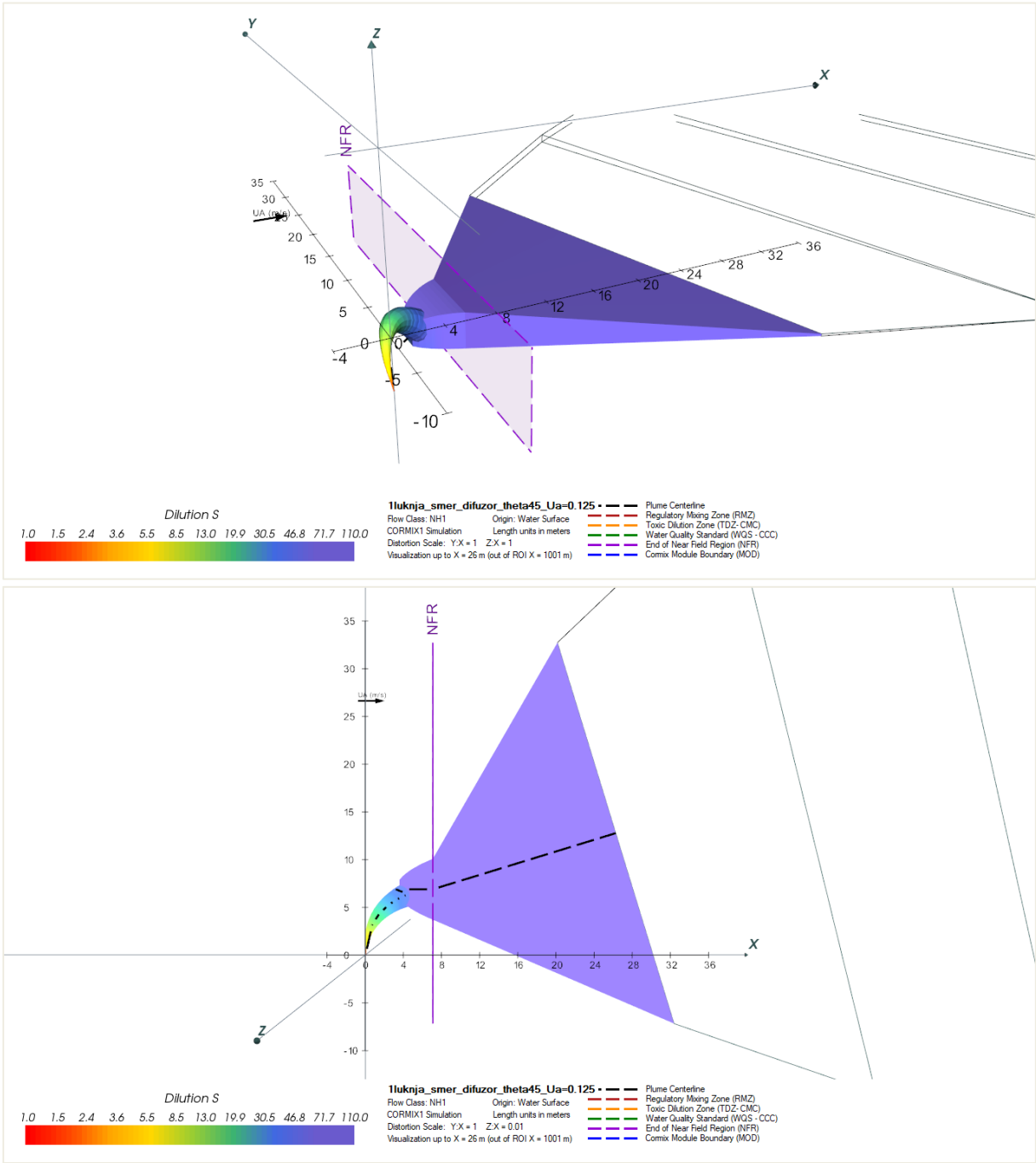
A.17 Scenarij 18–Primer 1



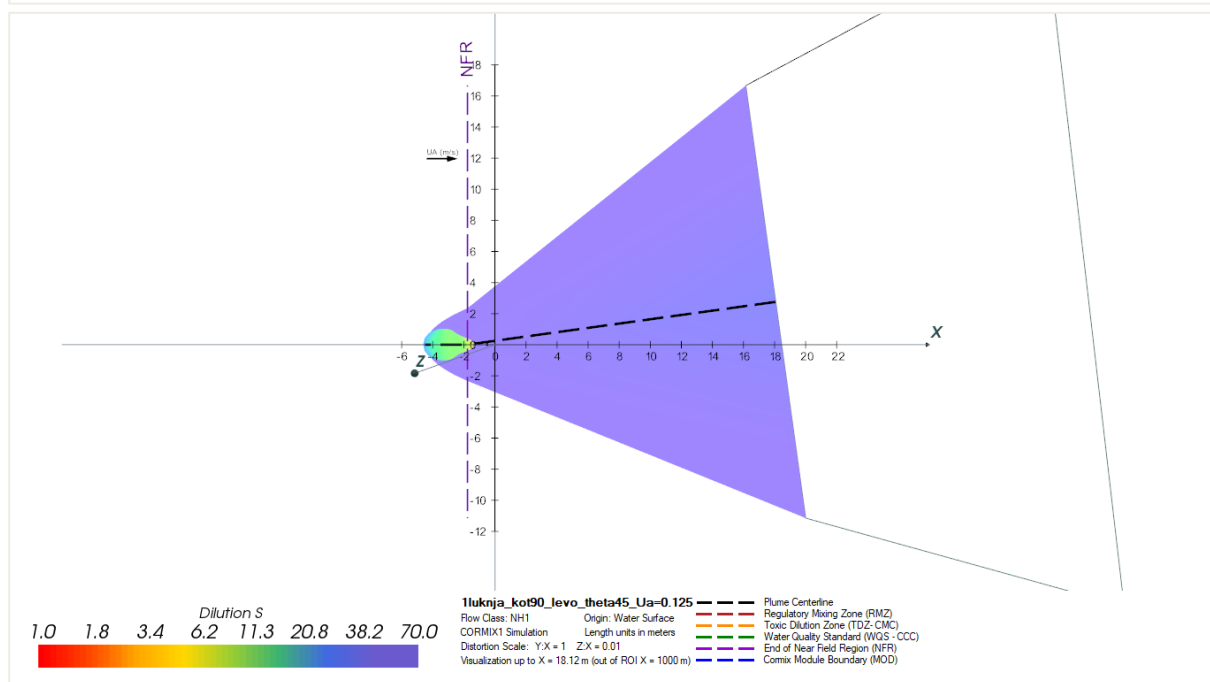
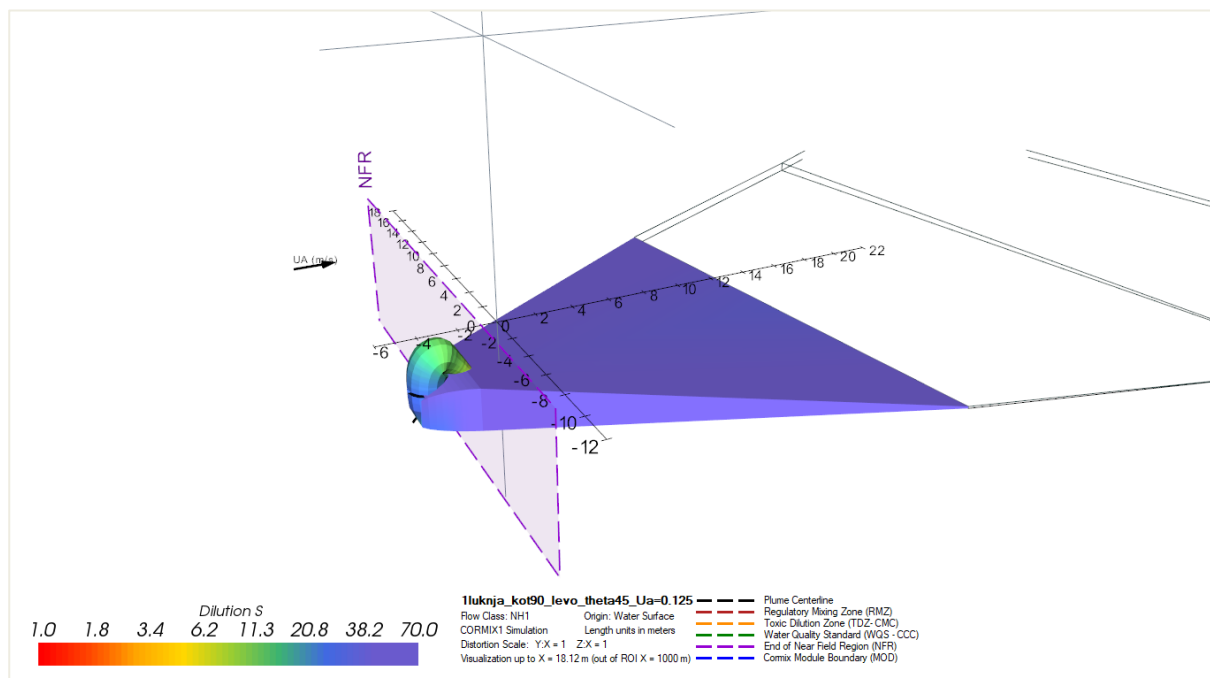
A.18 Scenarij 20–Primer 1



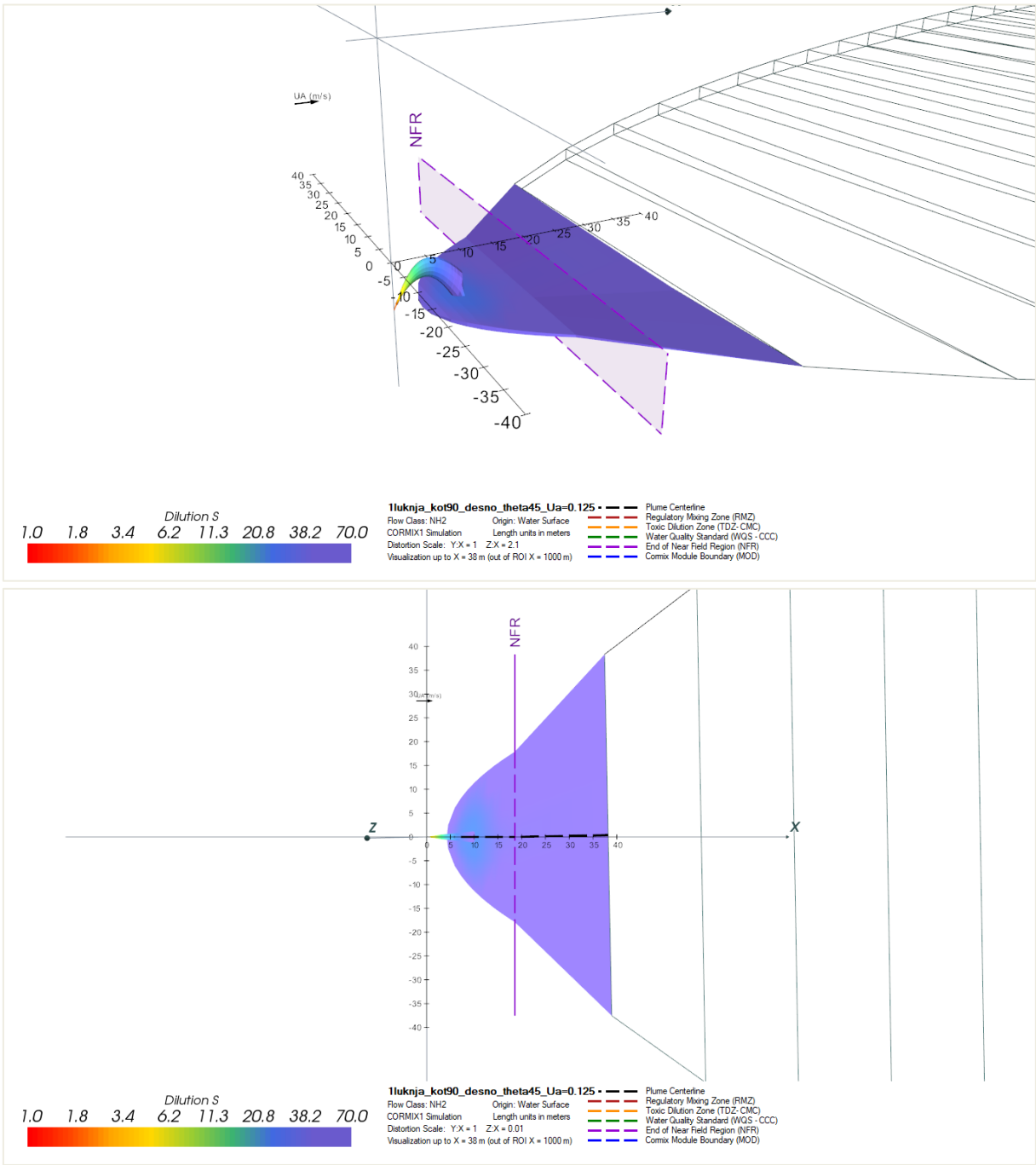
A.19 Scenarij 21–Primer 1



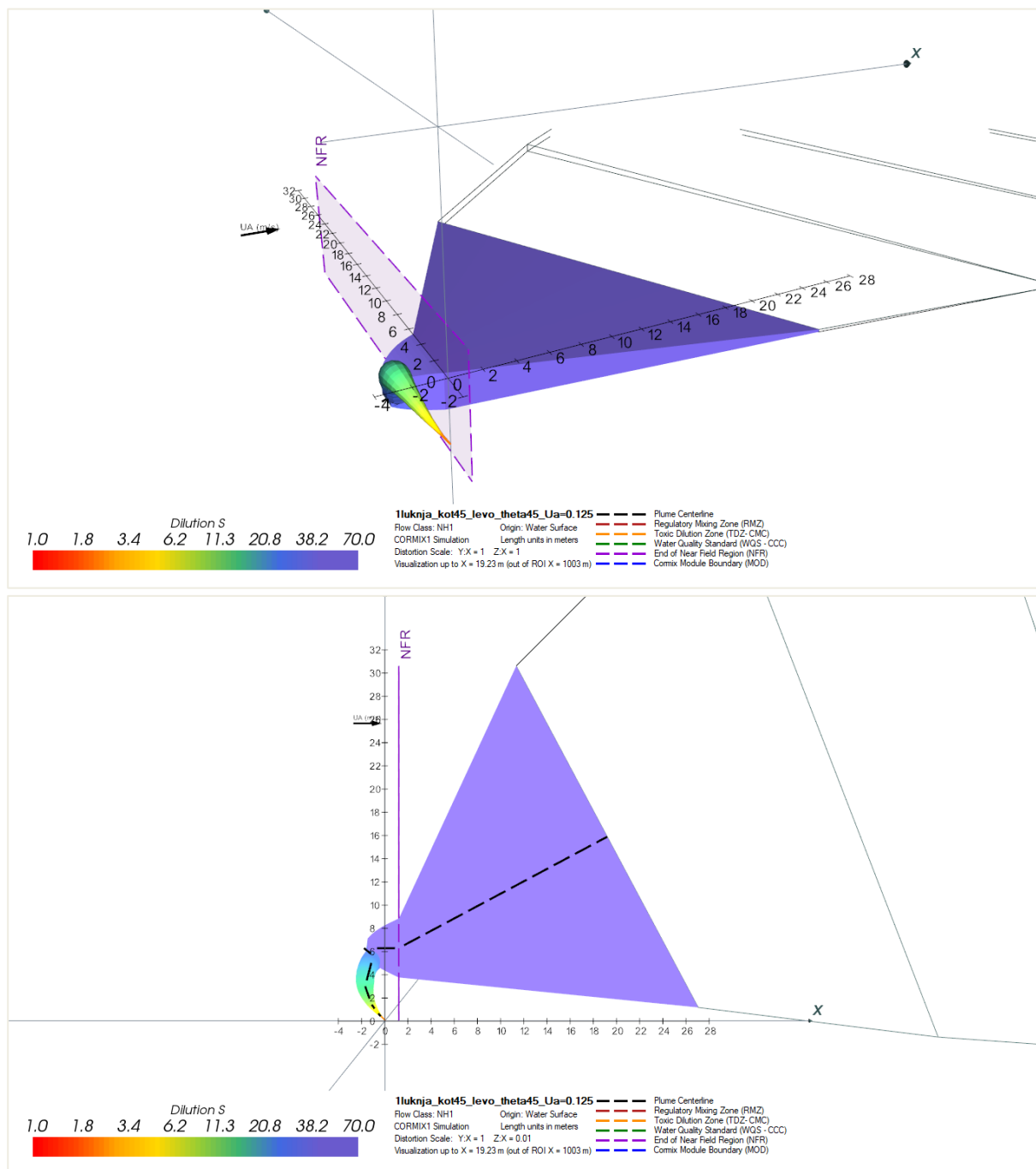
A.20 Scenarij 22–Primer 1



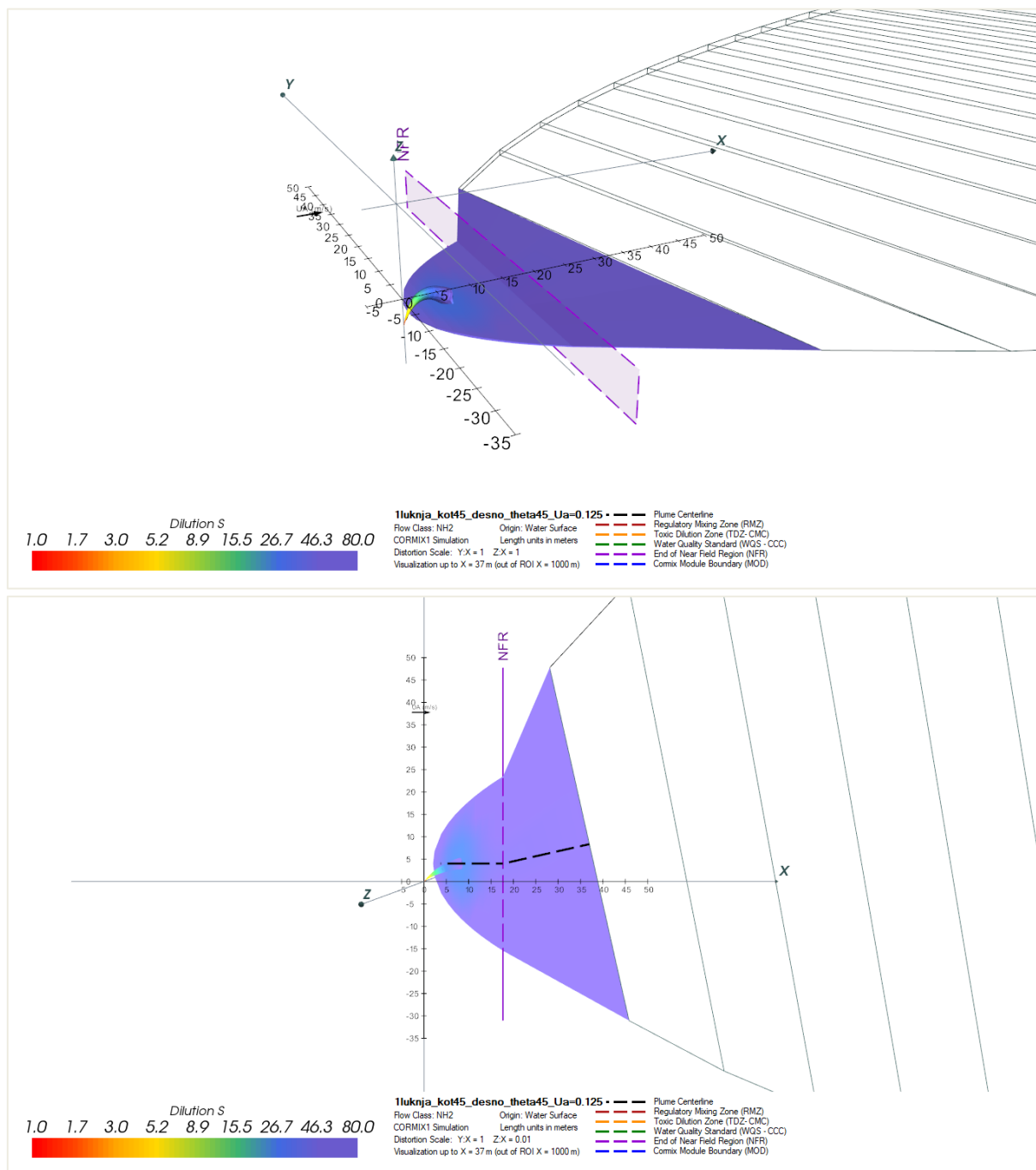
A.21 Scenarij 23–Primer 1



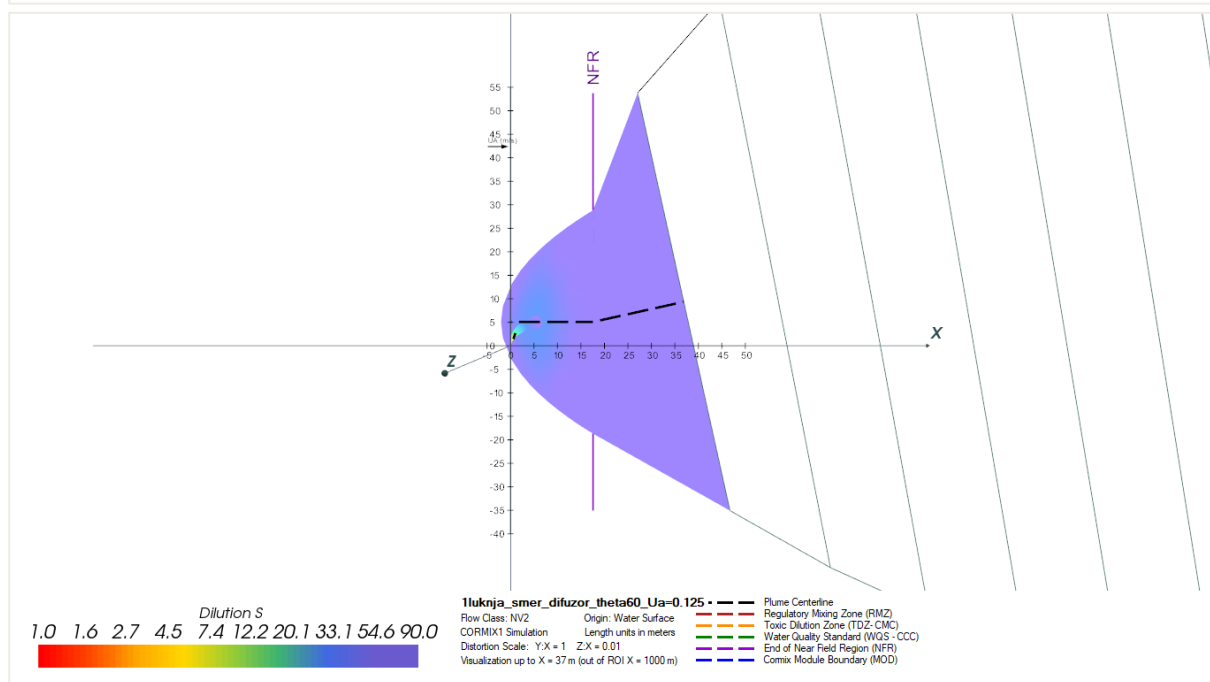
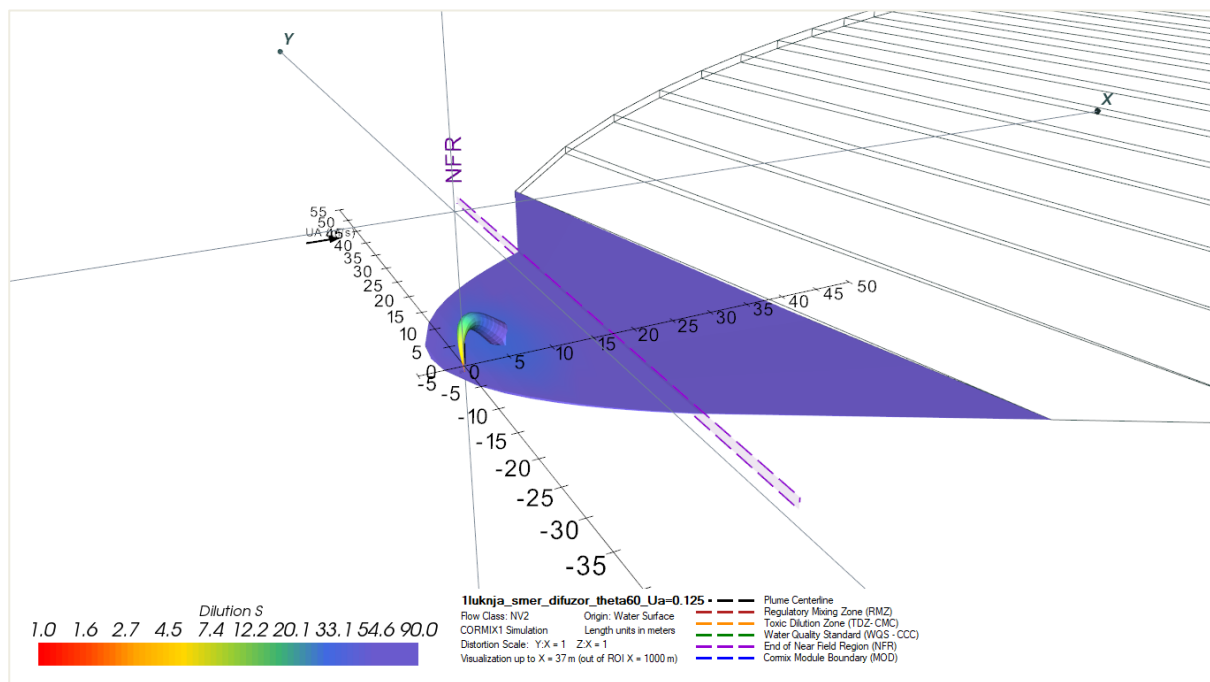
A.22 Scenarij 24–Primer 1



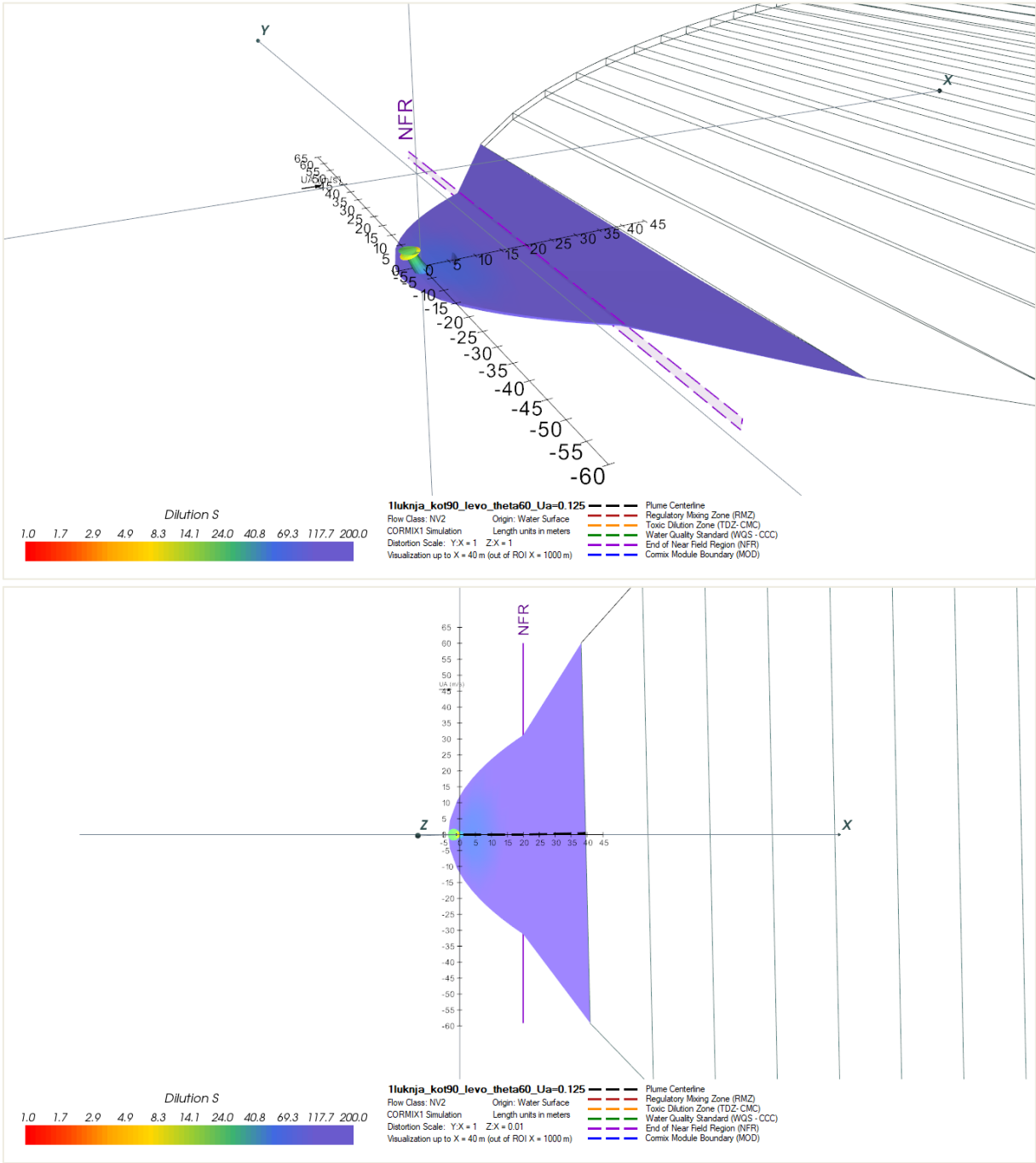
A.23 Scenarij 25–Primer 1



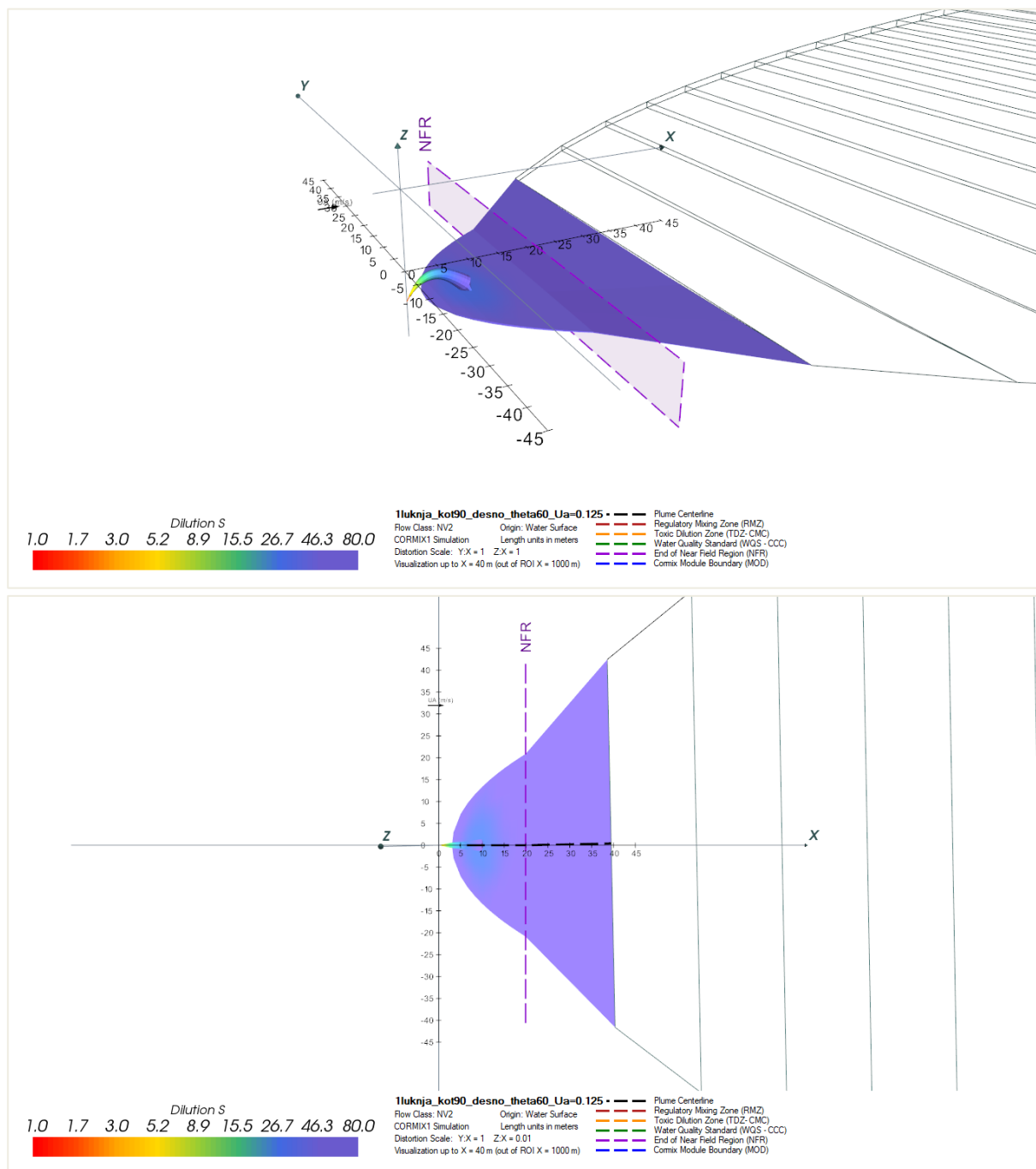
A.24 Scenarij 26–Primer 1



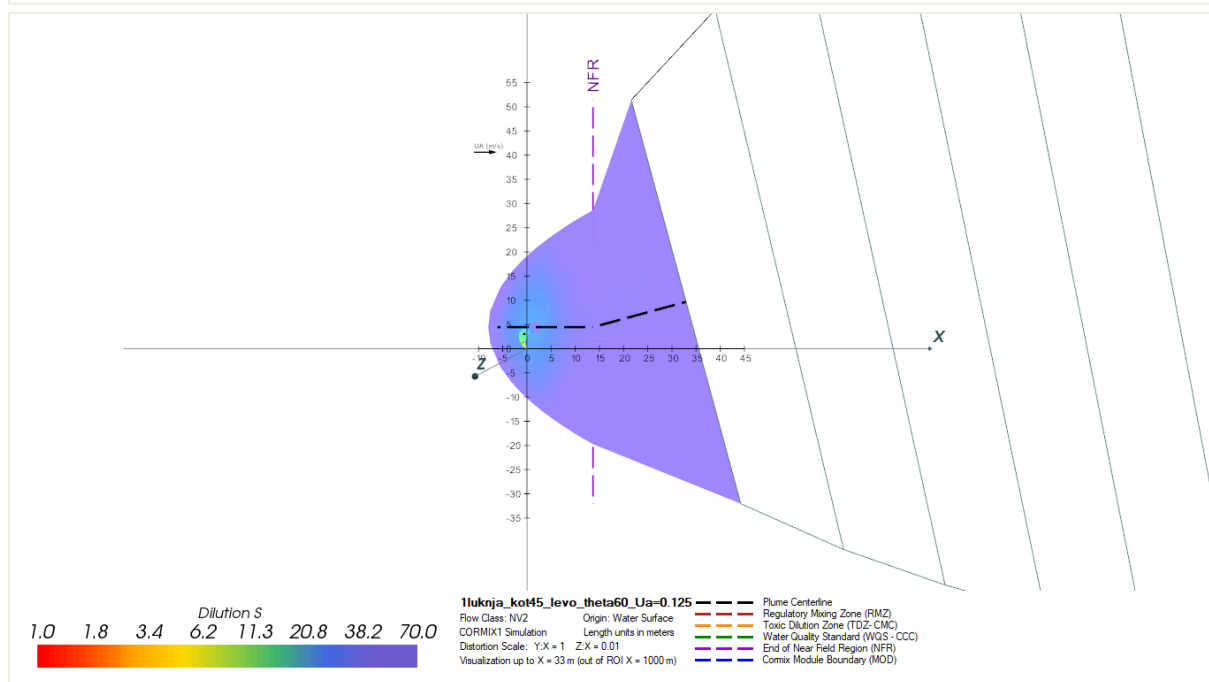
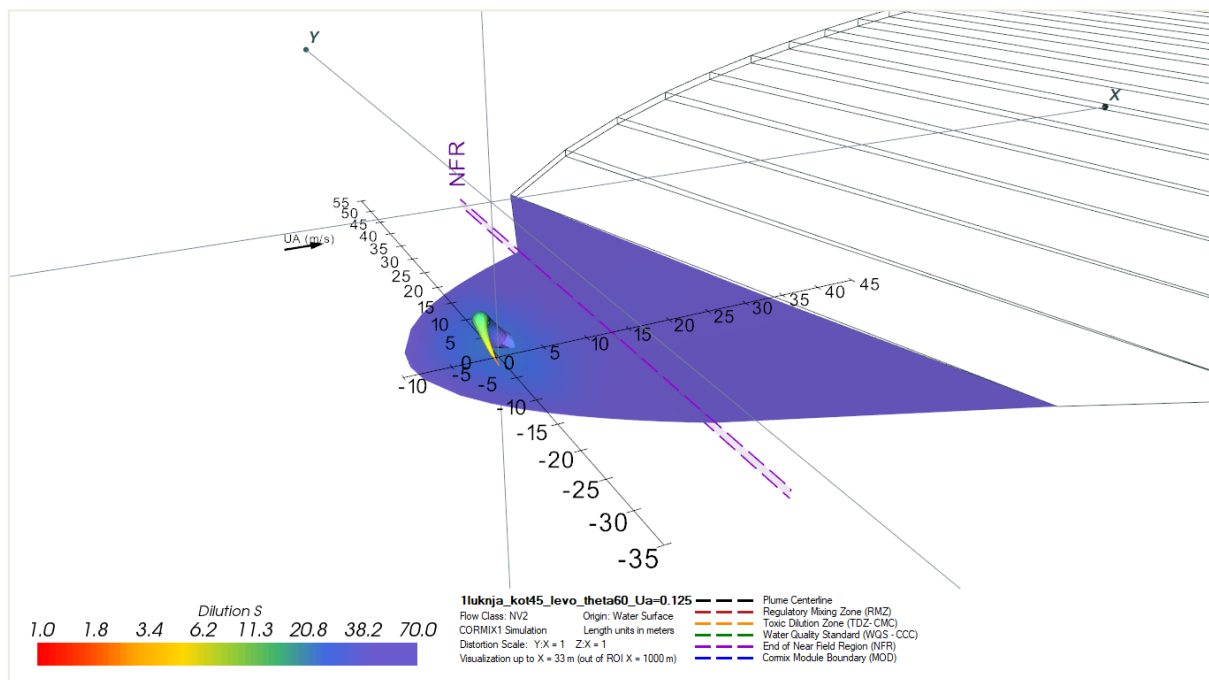
A.25 Scenarij 27–Primer 1



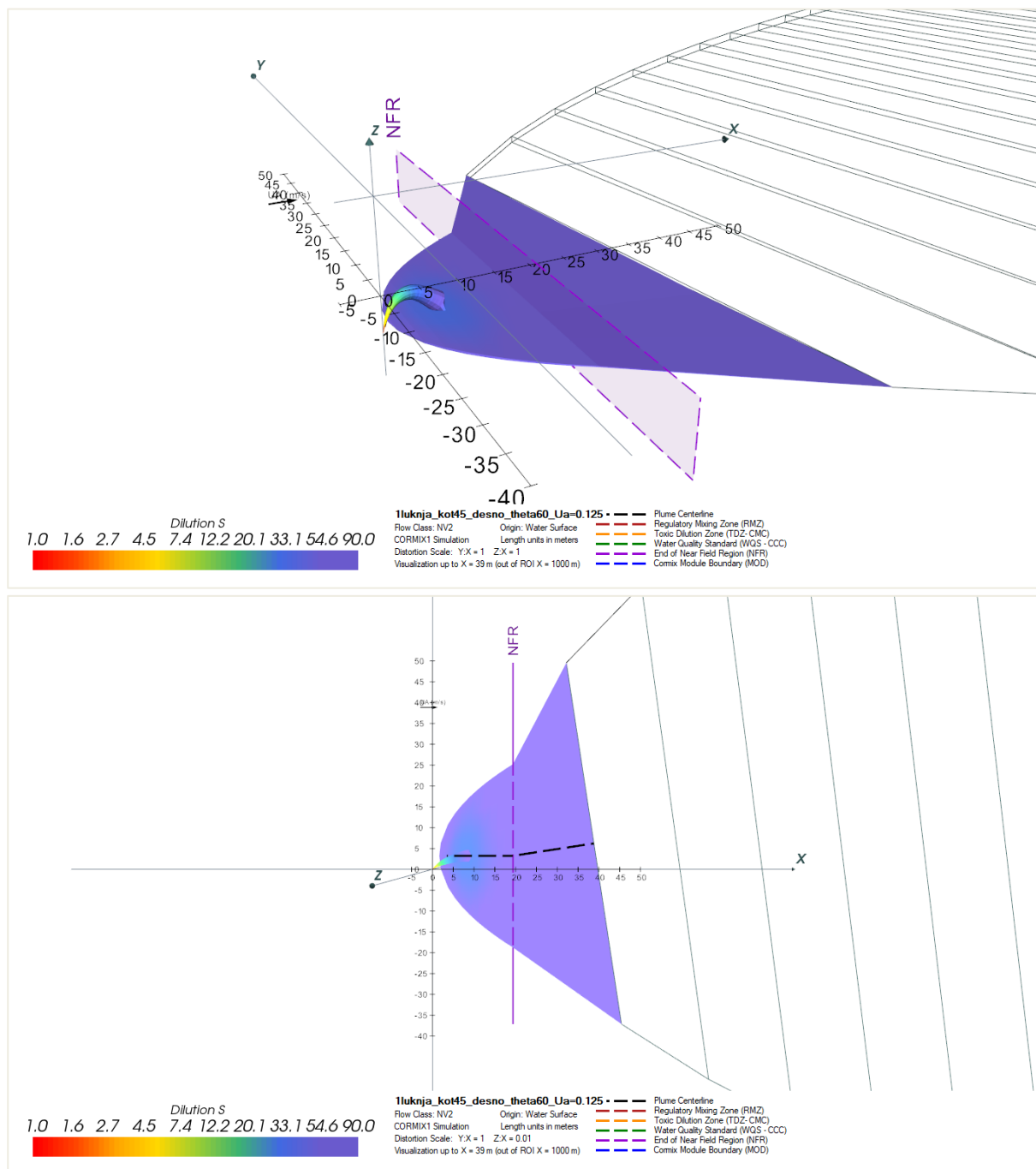
A.26 Scenarij 28–Primer 1



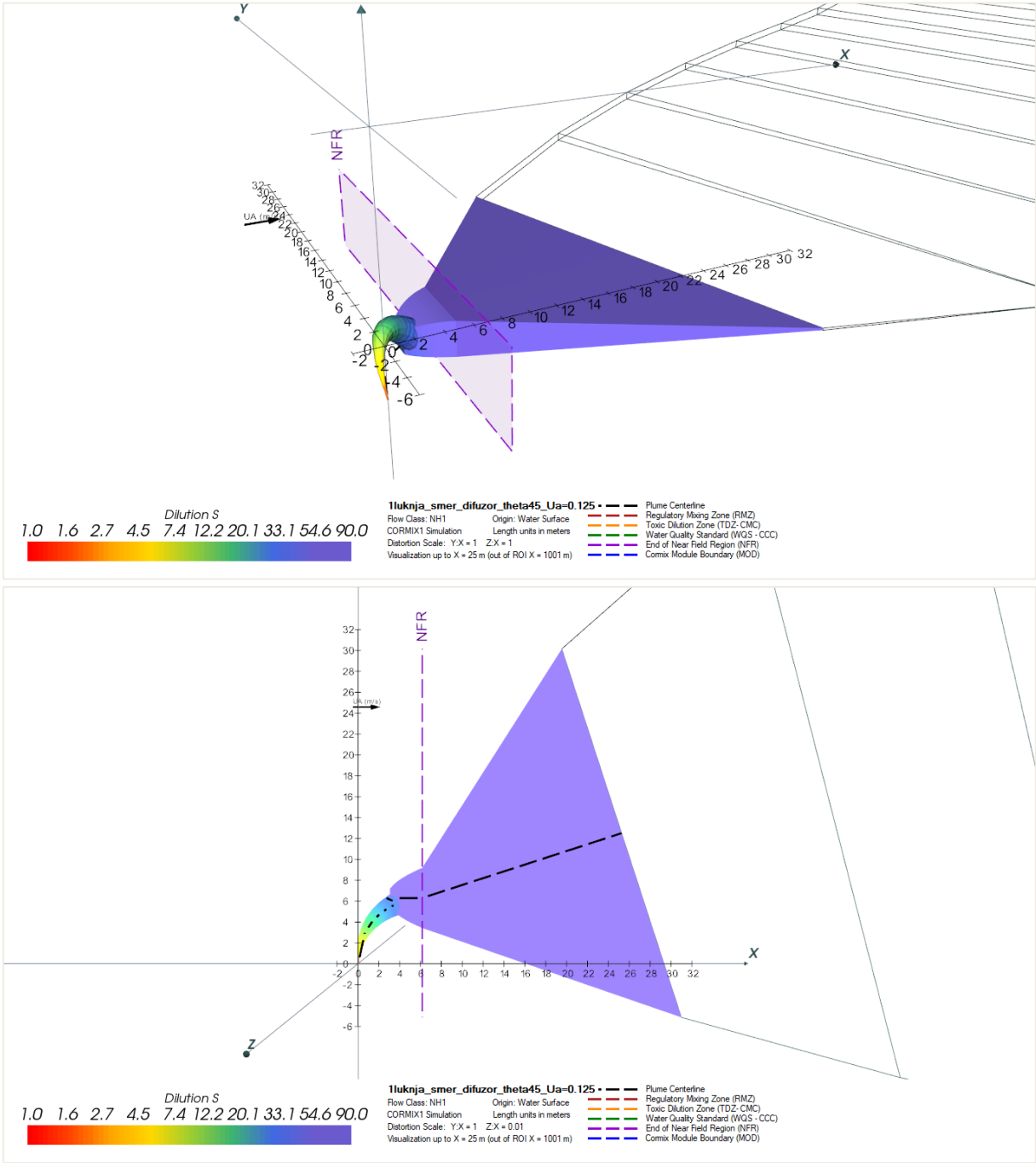
A.27 Scenarij 29–Primer 1



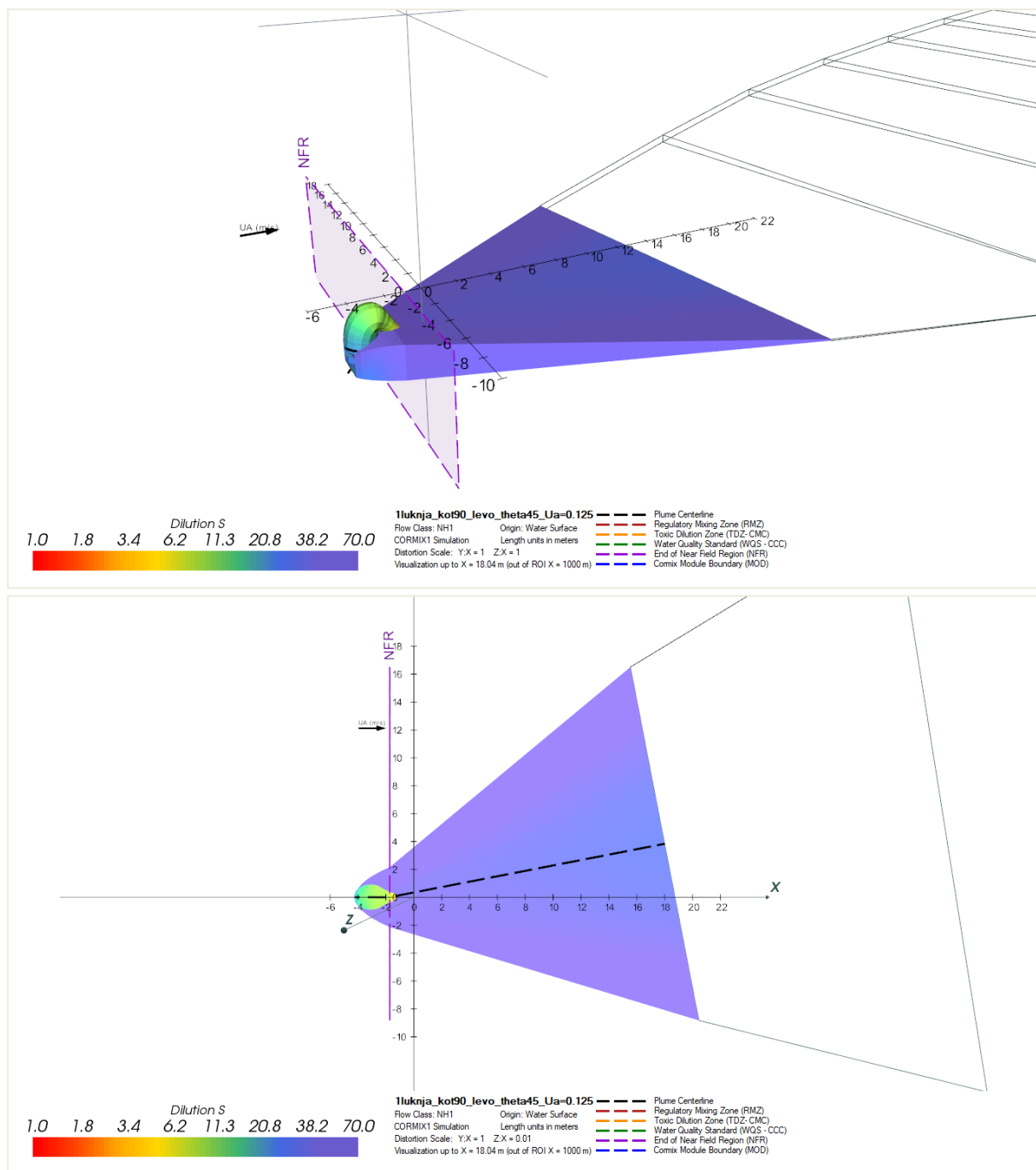
A.28 Scenarij 30–Primer 1



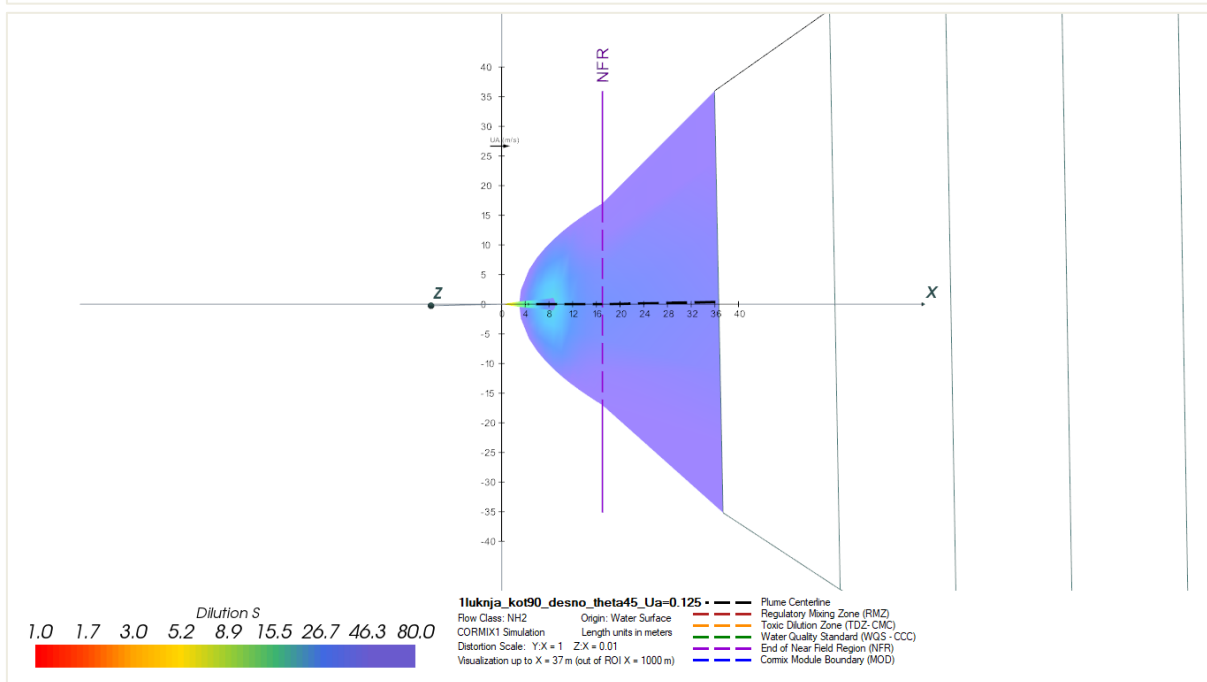
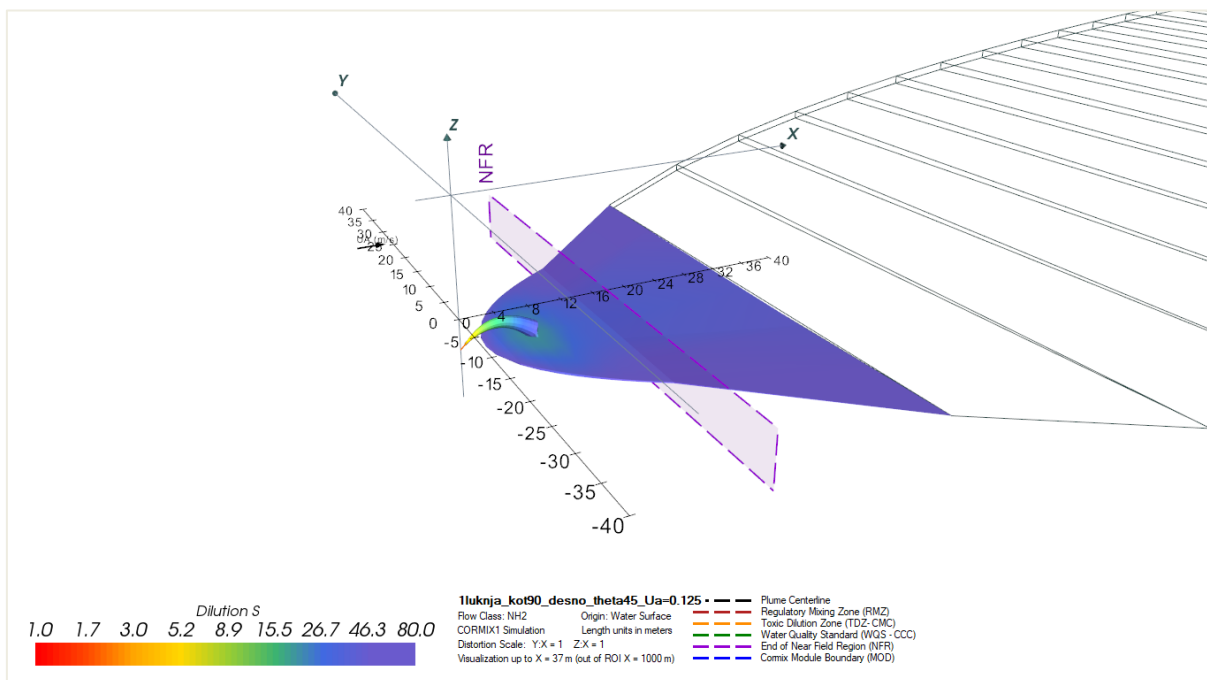
A.29 Scenarij 31–Primer 1



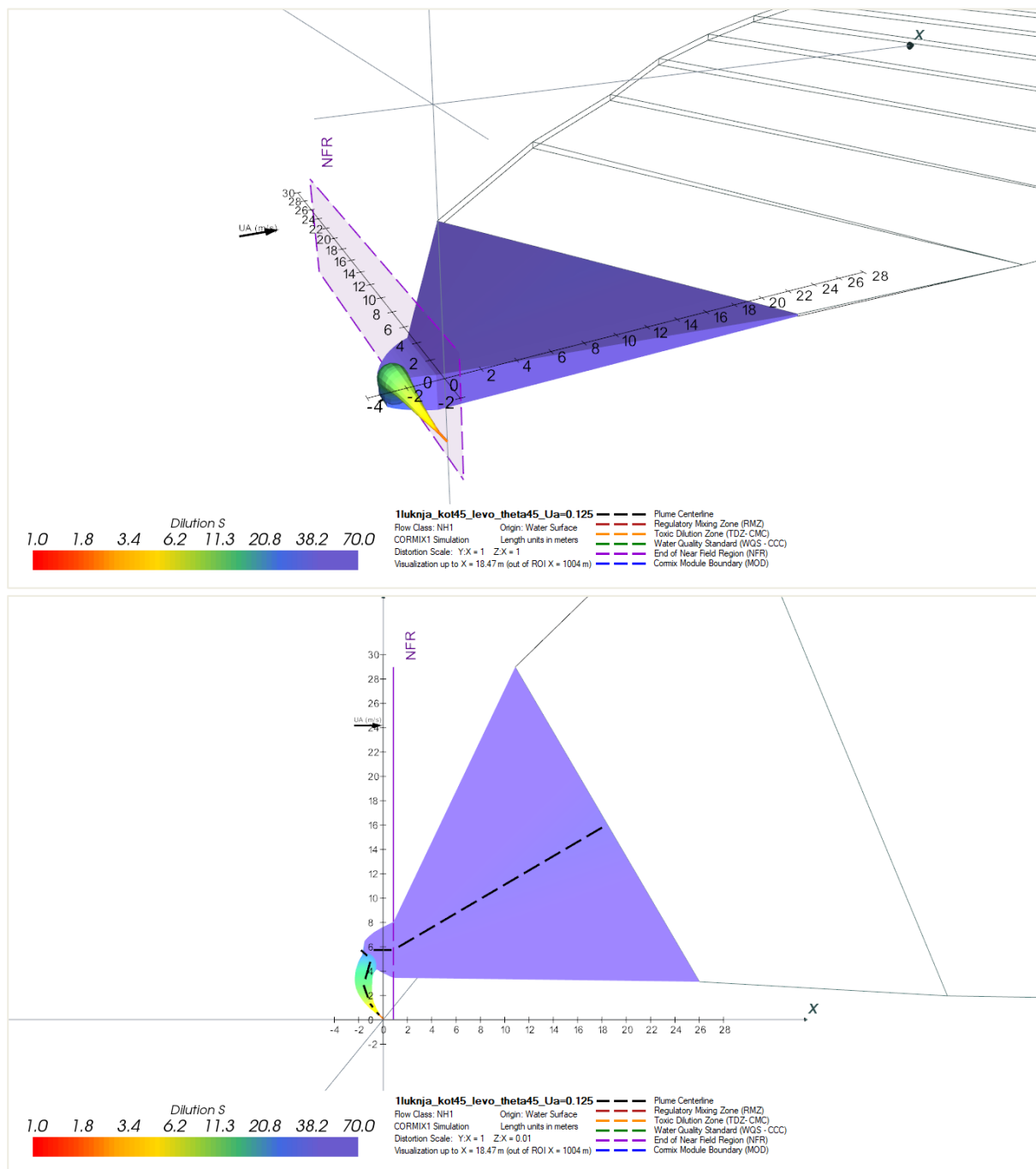
A.30 Scenarij 32–Primer 1



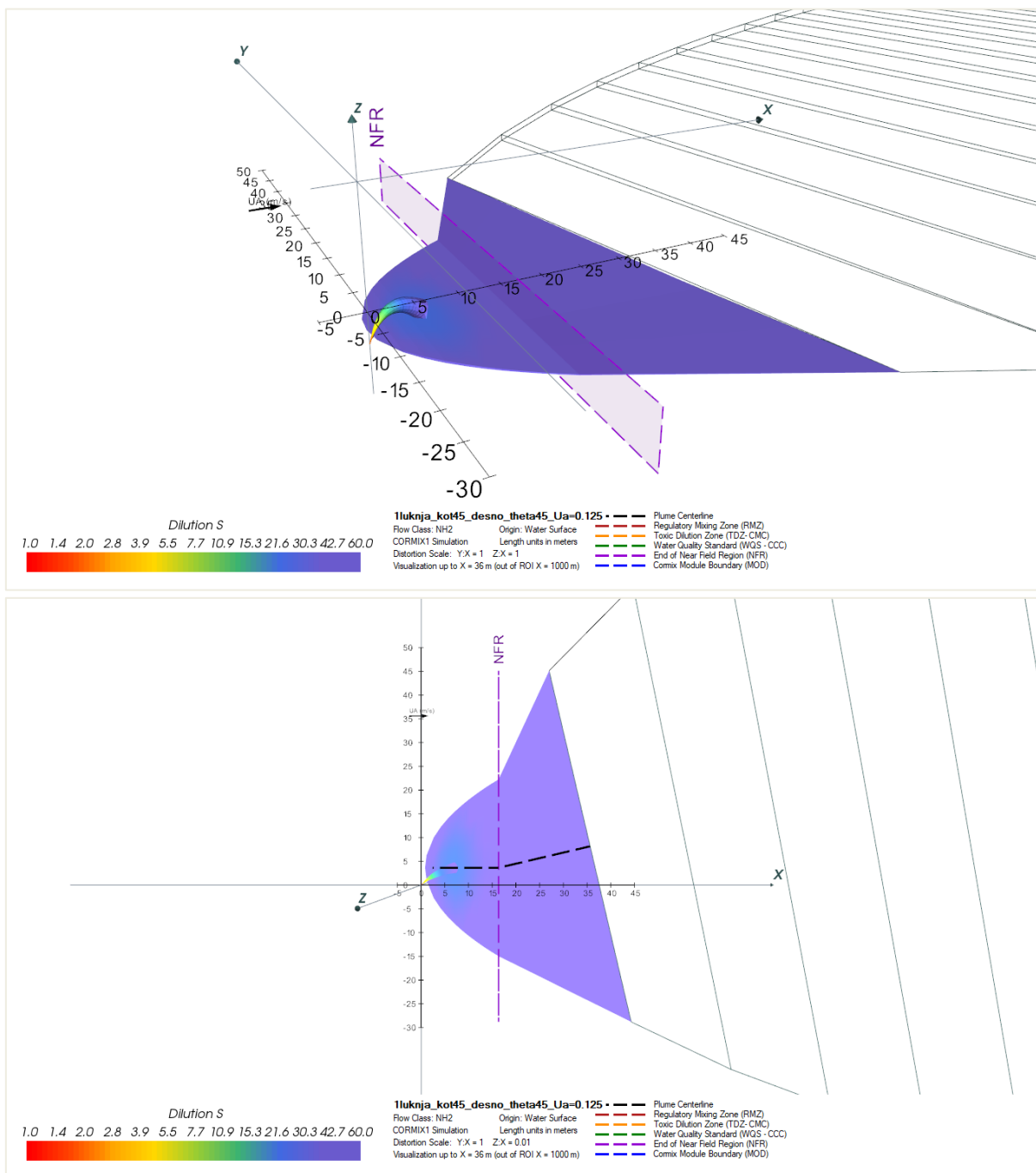
A.31 Scenarij 33–Primer 1



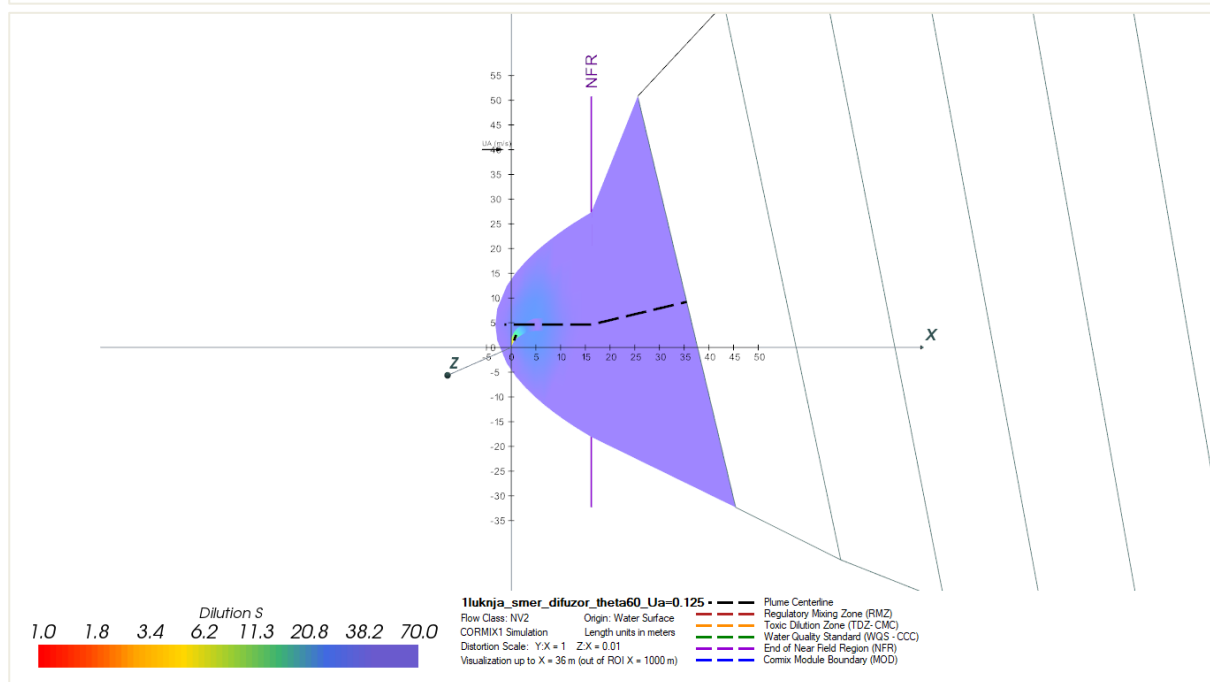
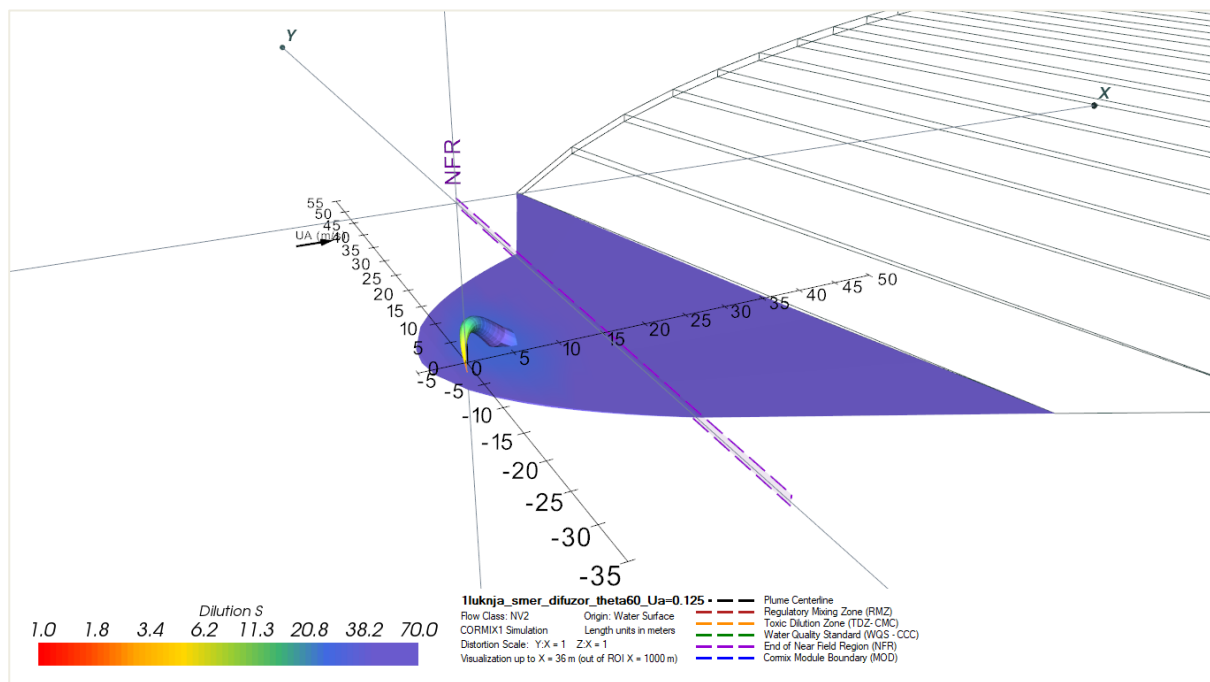
A.32 Scenarij 34–Primer 1



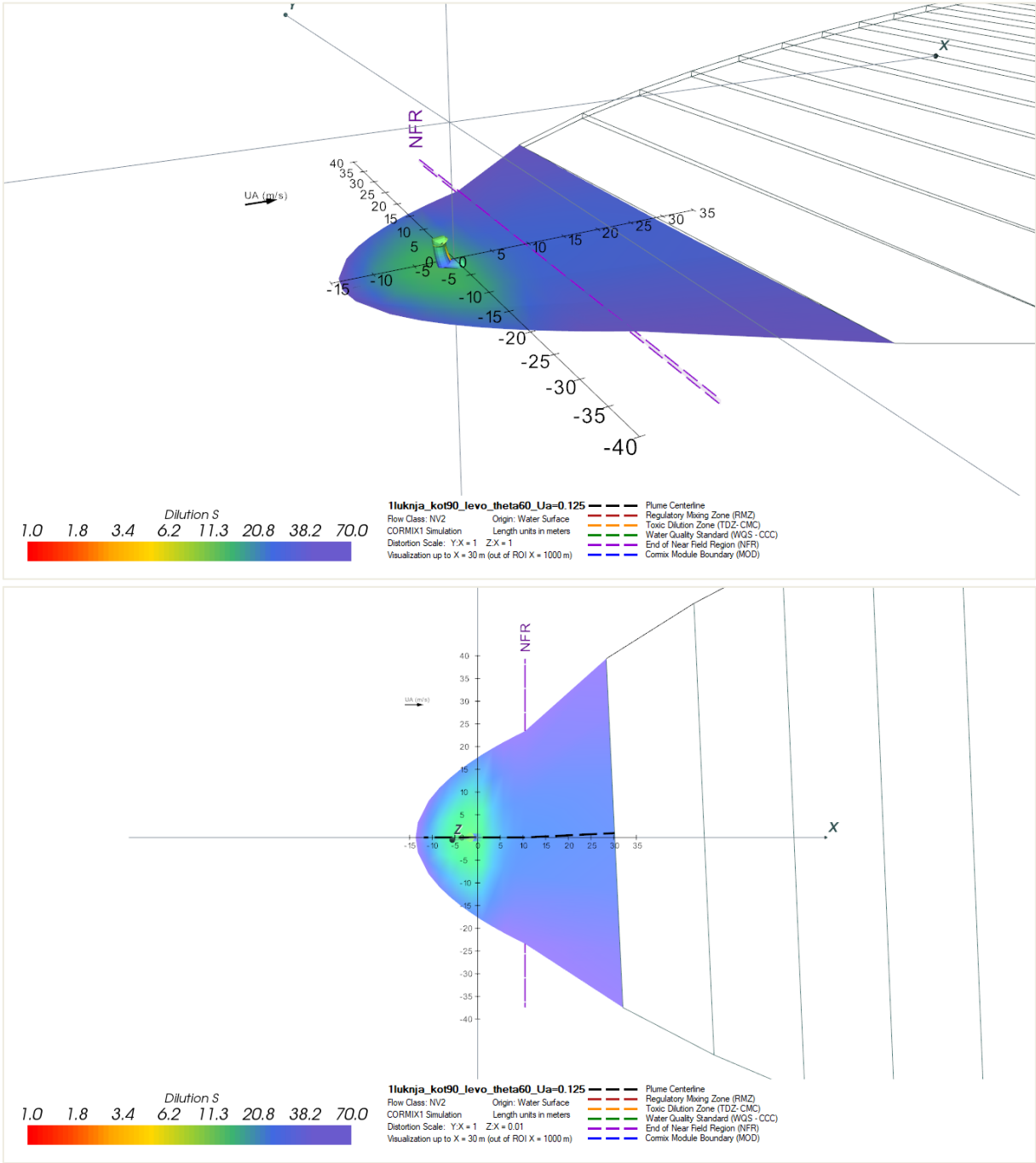
A.33 Scenarij 35–Primer 1



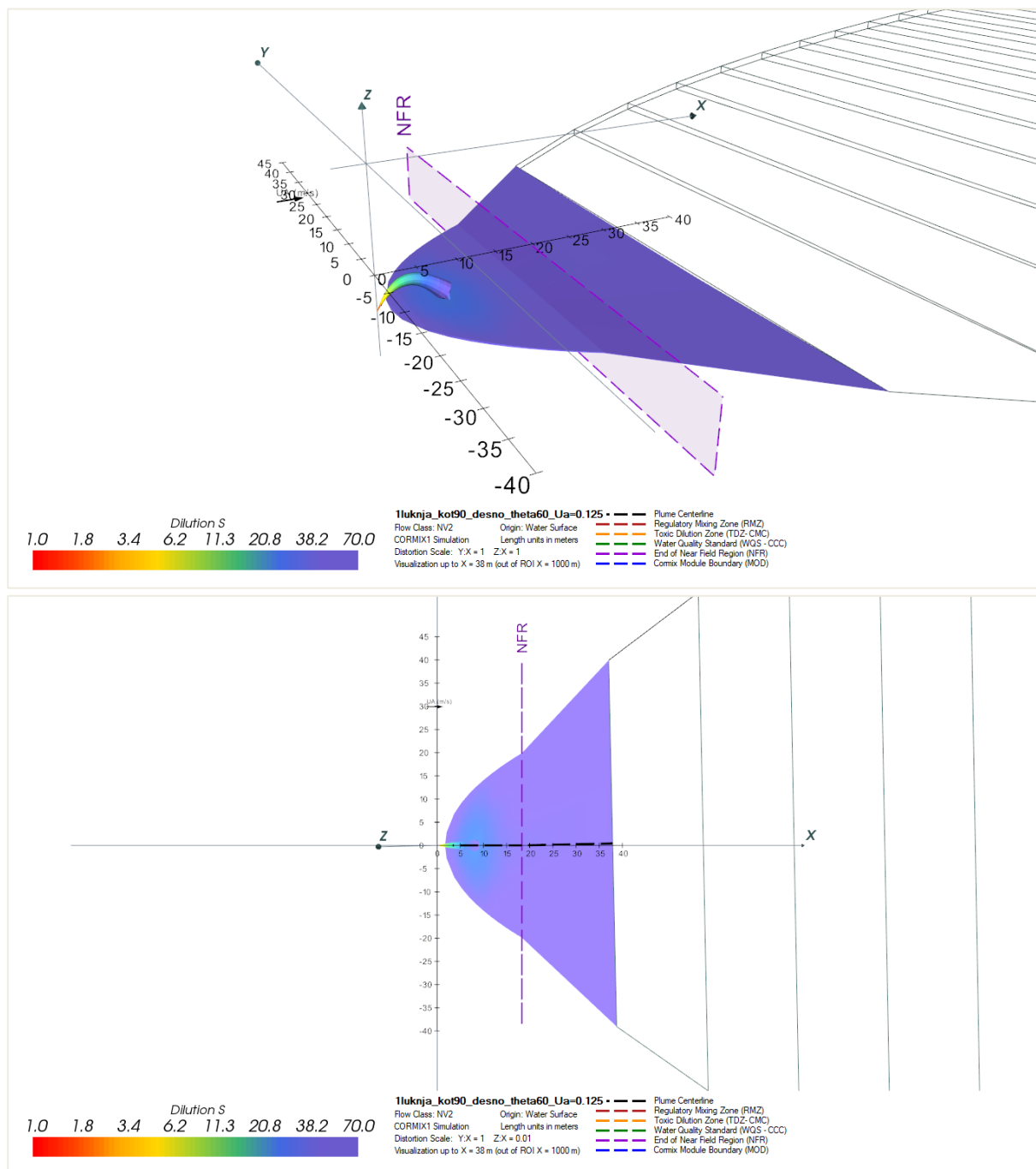
A.34 Scenarij 36–Primer 1



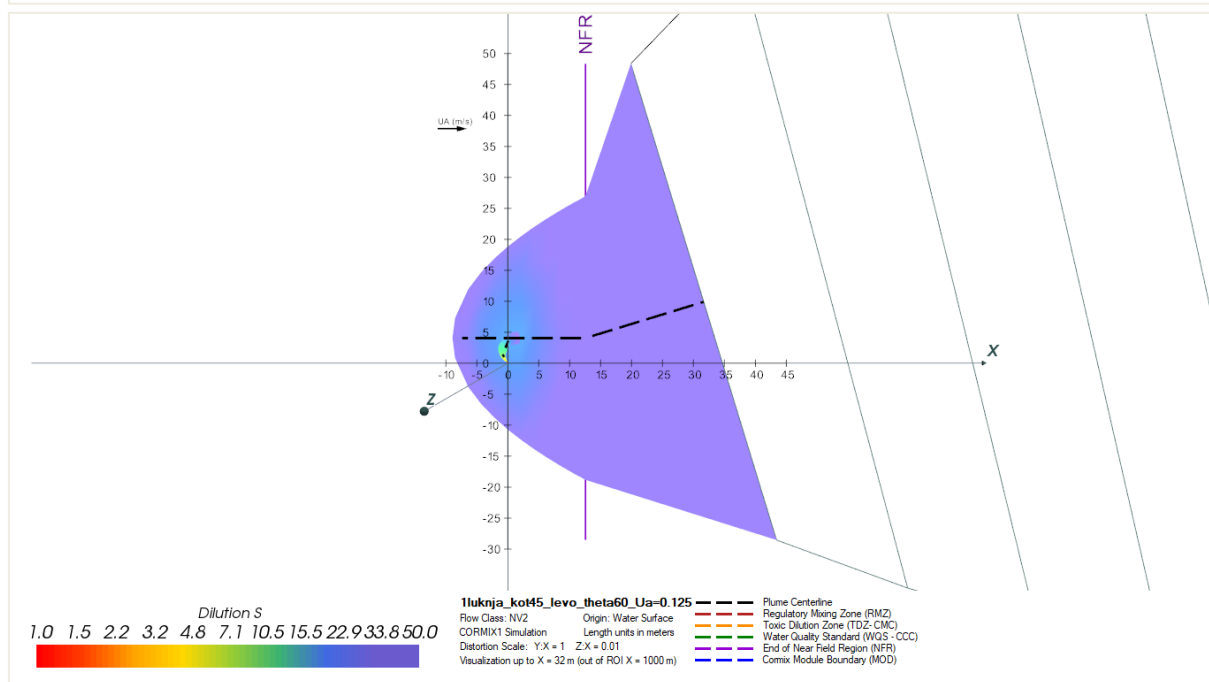
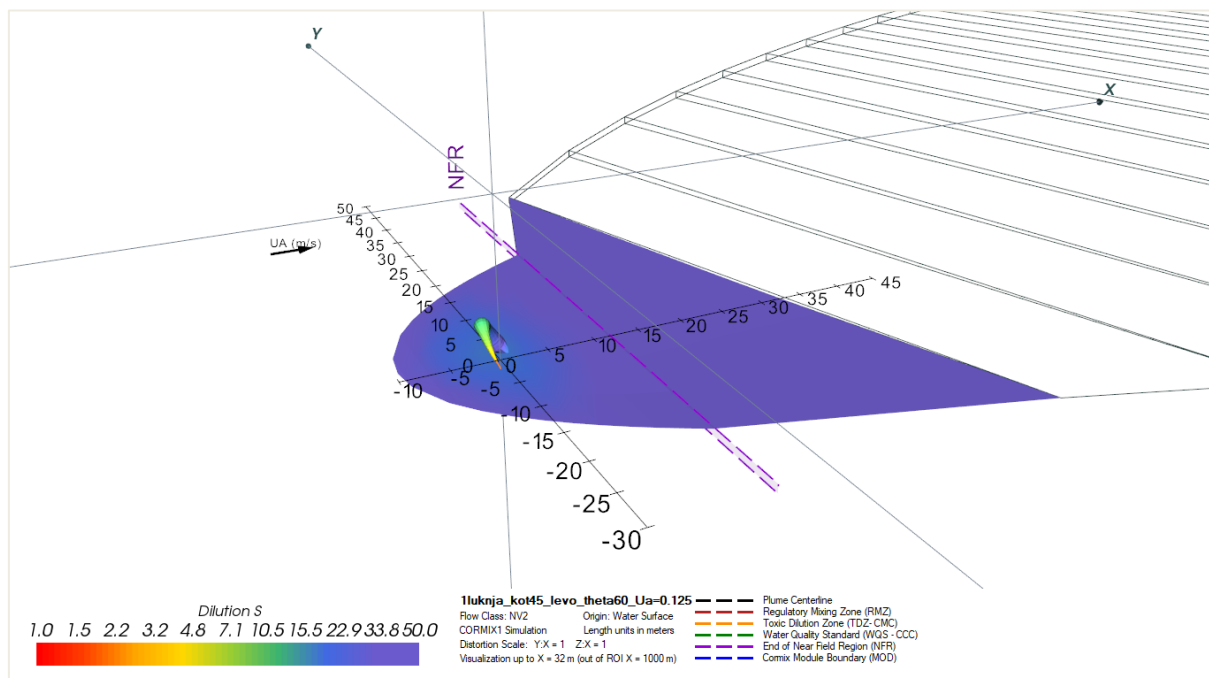
A.35 Scenarij 37–Primer 1



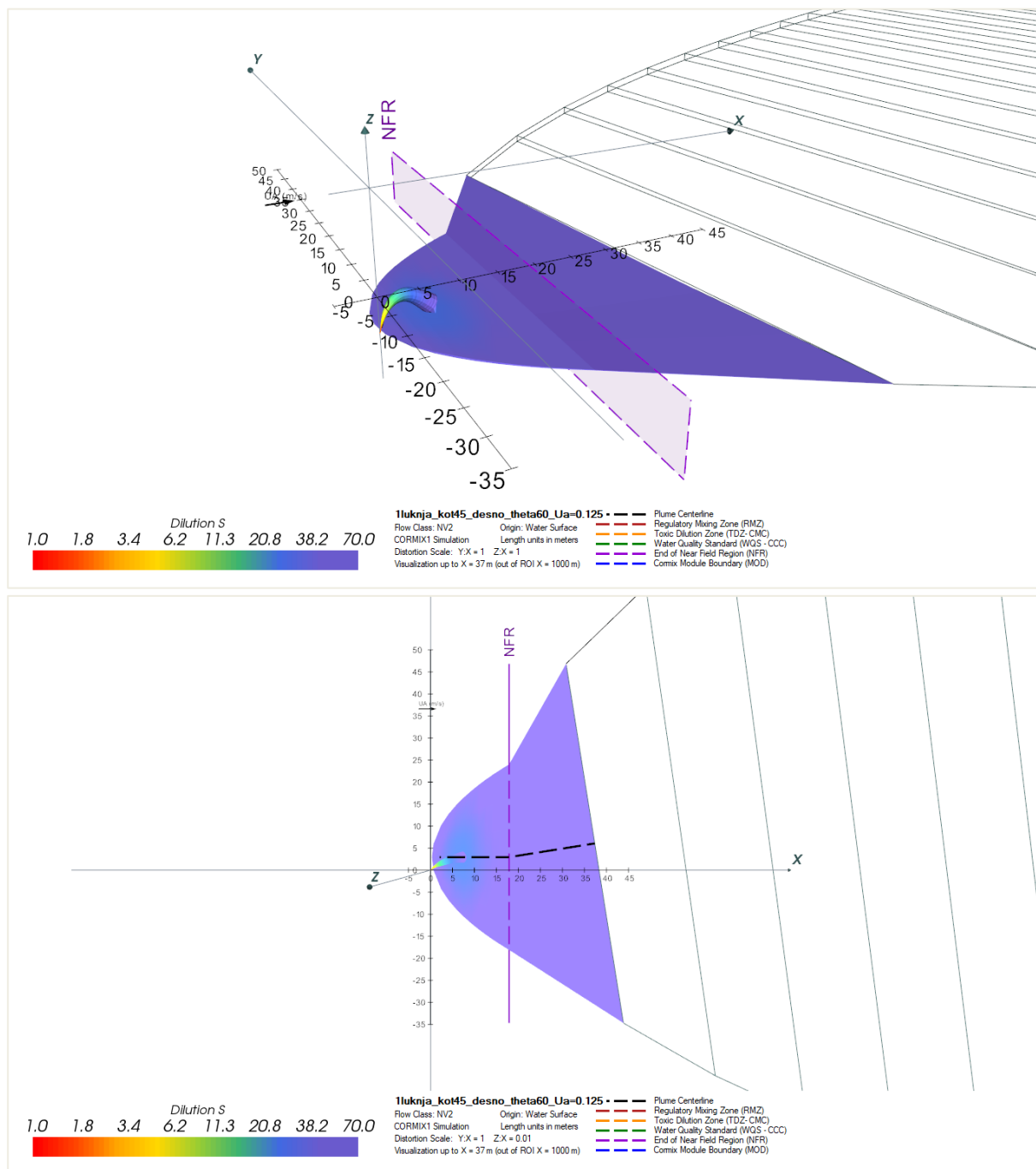
A.36 Scenarij 38–Primer 1



A.37 Scenarij 39–Primer 1

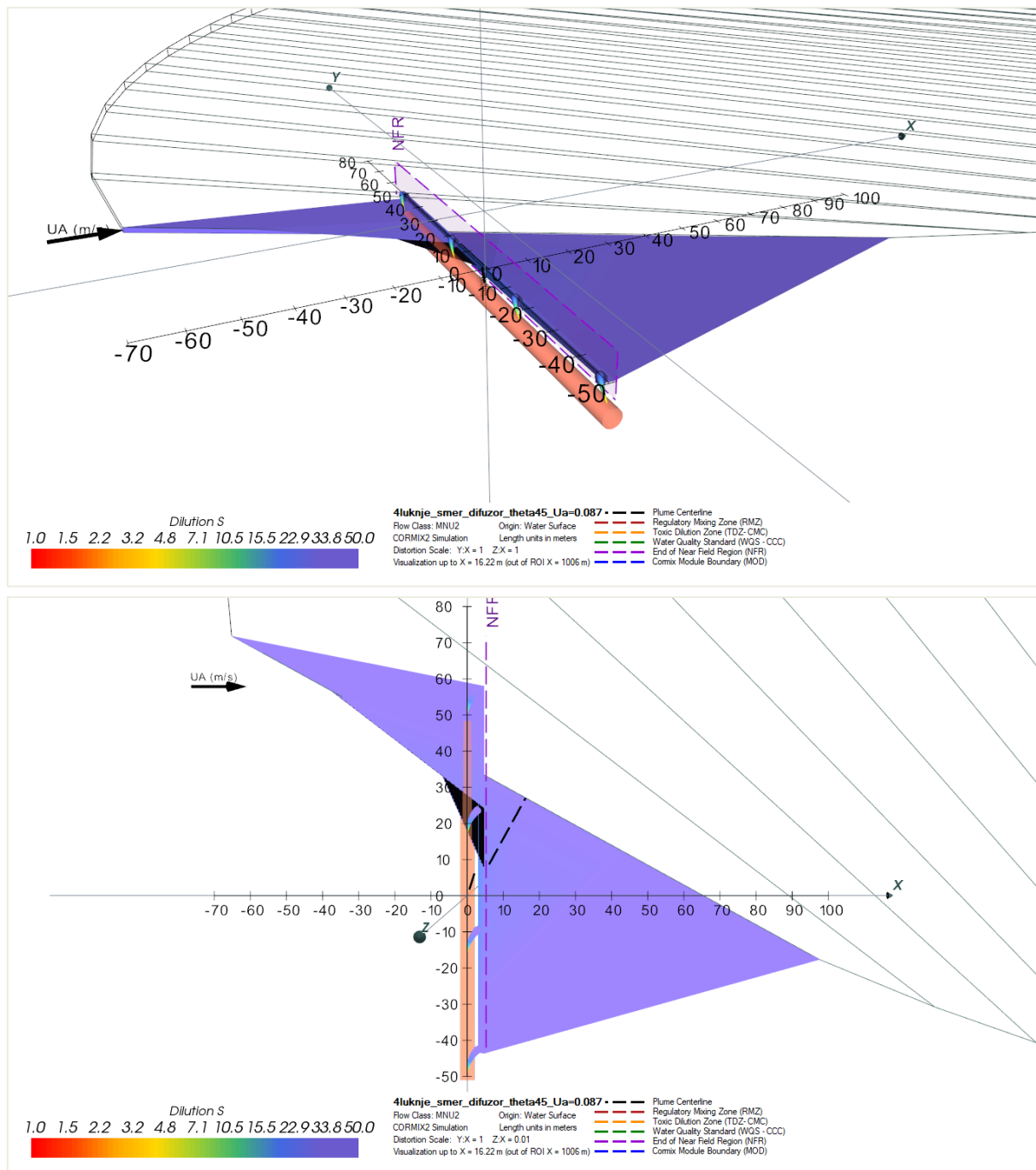


A.38 Scenarij 40–Primer 1

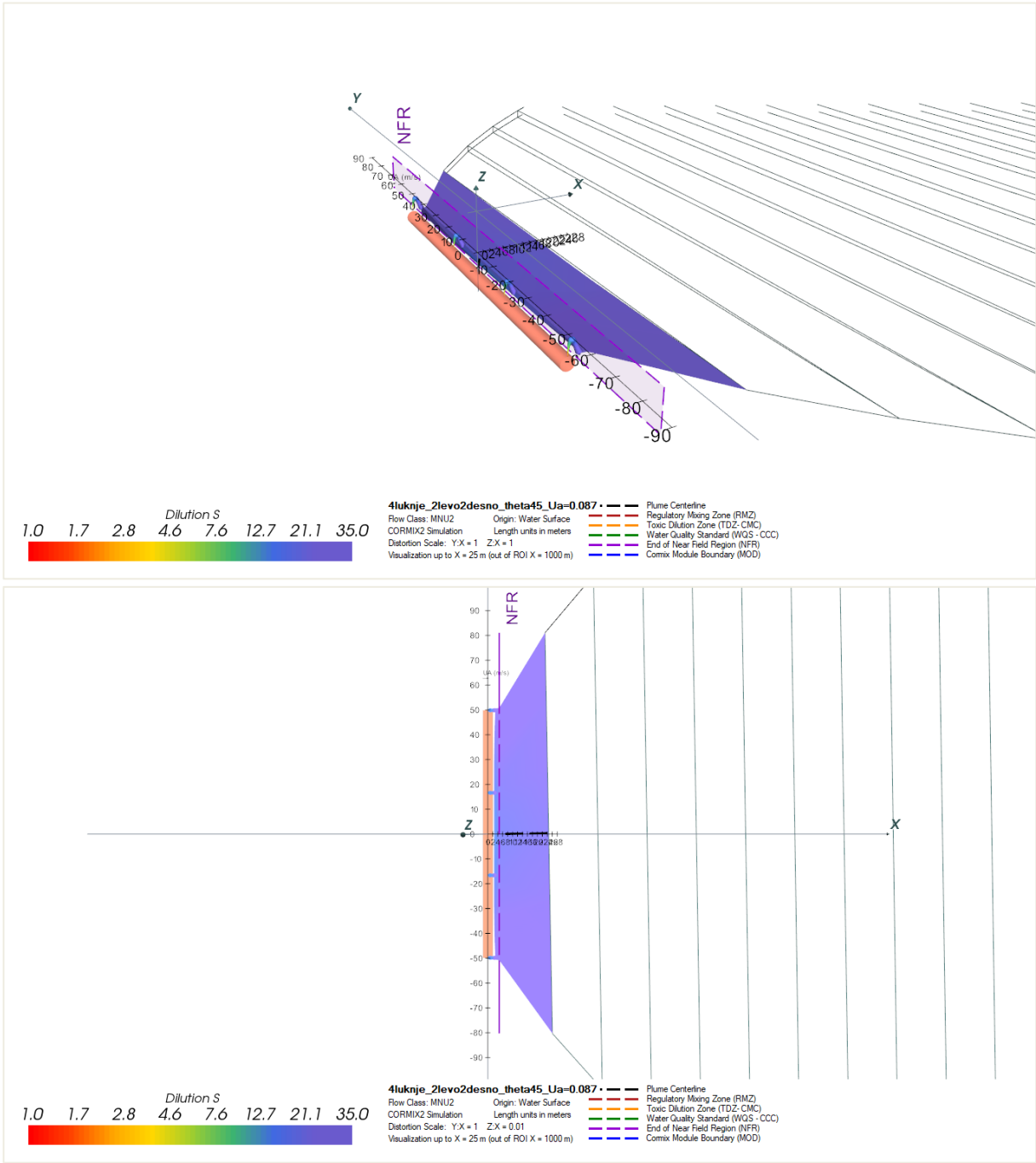


PRILOGA B: GRAFIČNI PRIKAZ RAZREDČENJA IZTOČNIH CURKOV-PRIMER 2 (AKSONOMETRIJA ZGORAJ, TLORIS XY SPODAJ)

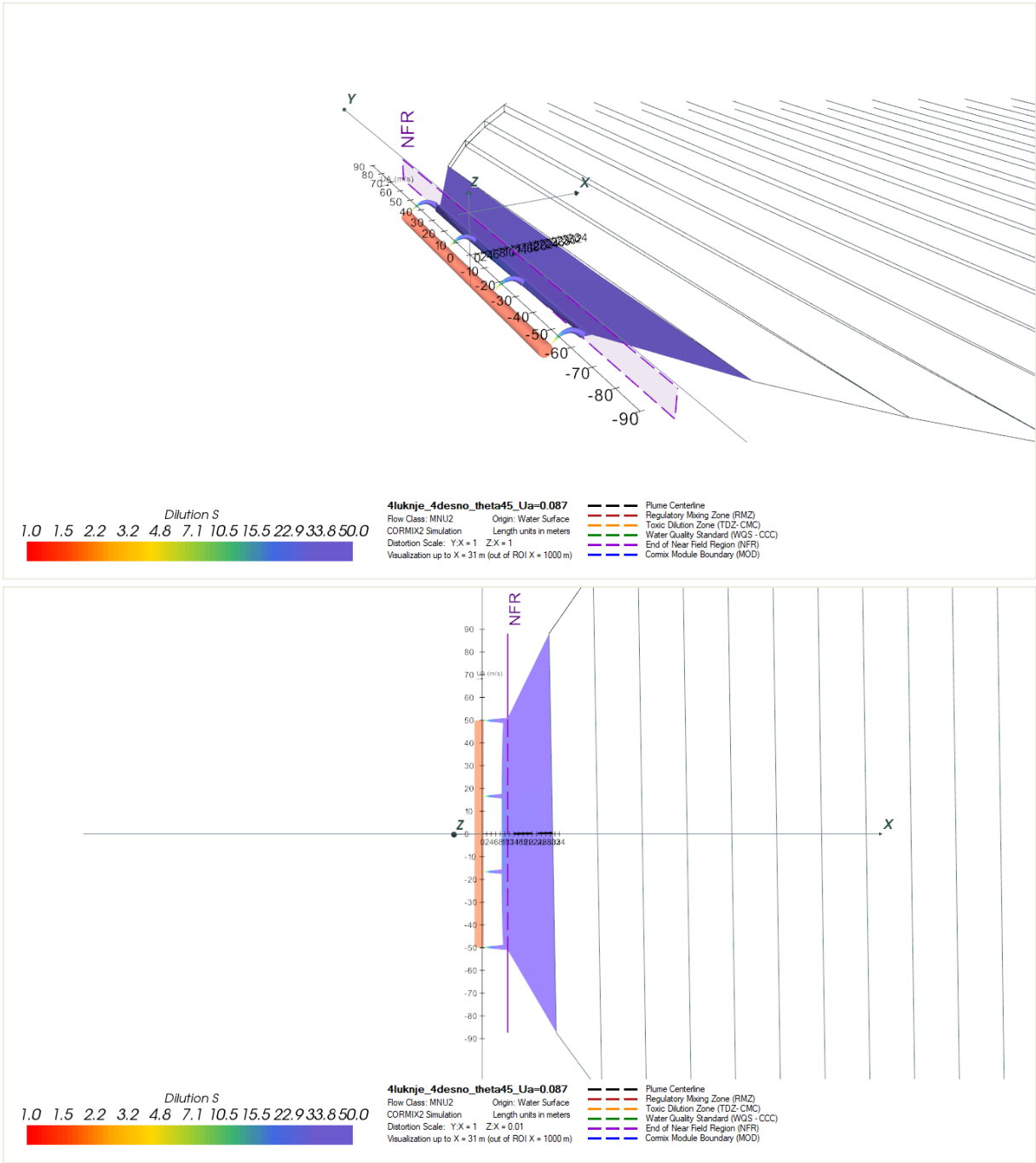
B.1 Scenarij 1–Primer 2



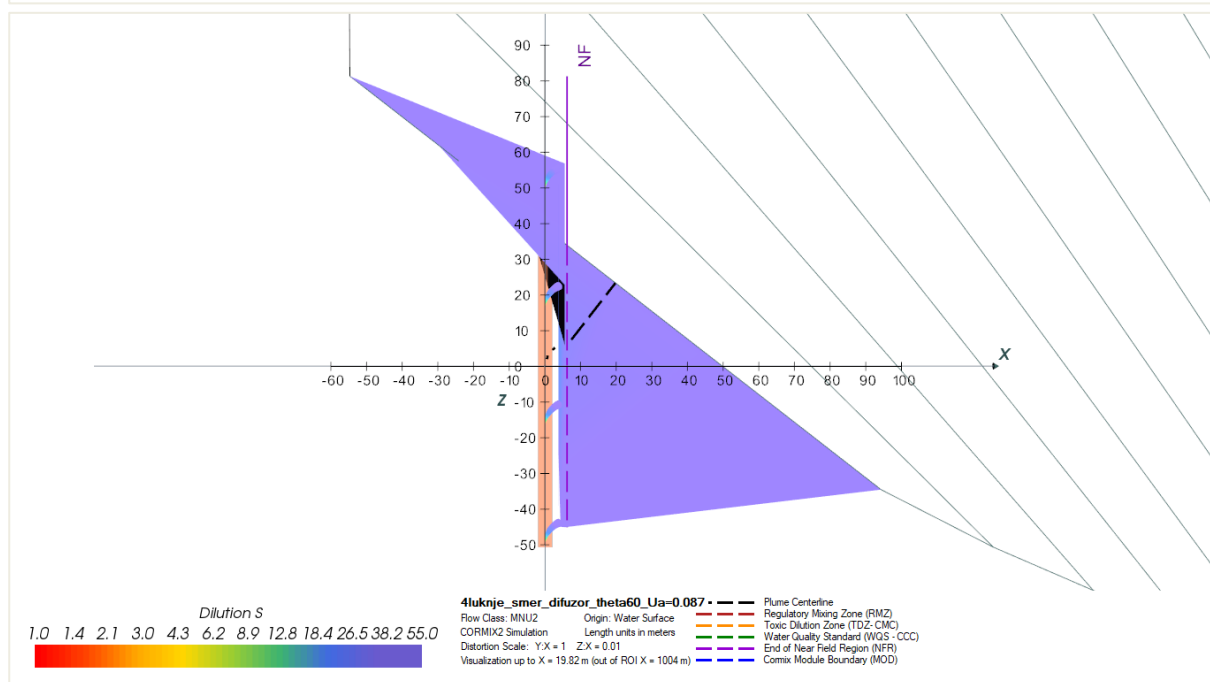
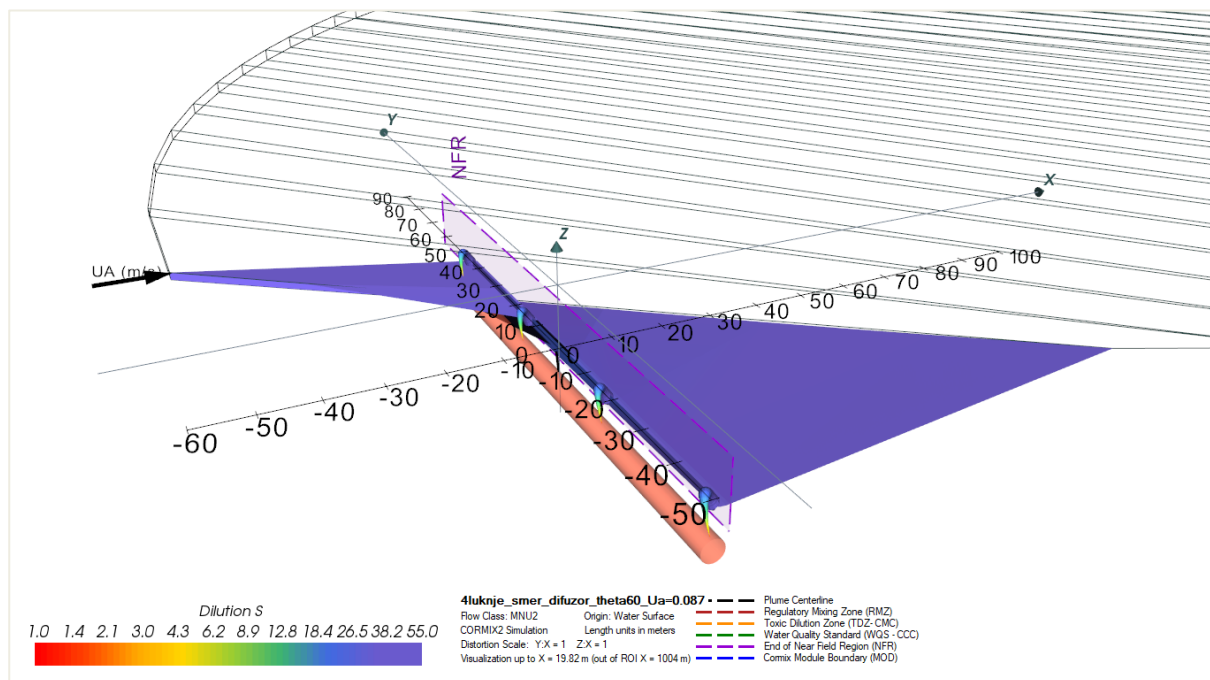
B.2 Scenarij 2–Primer 2



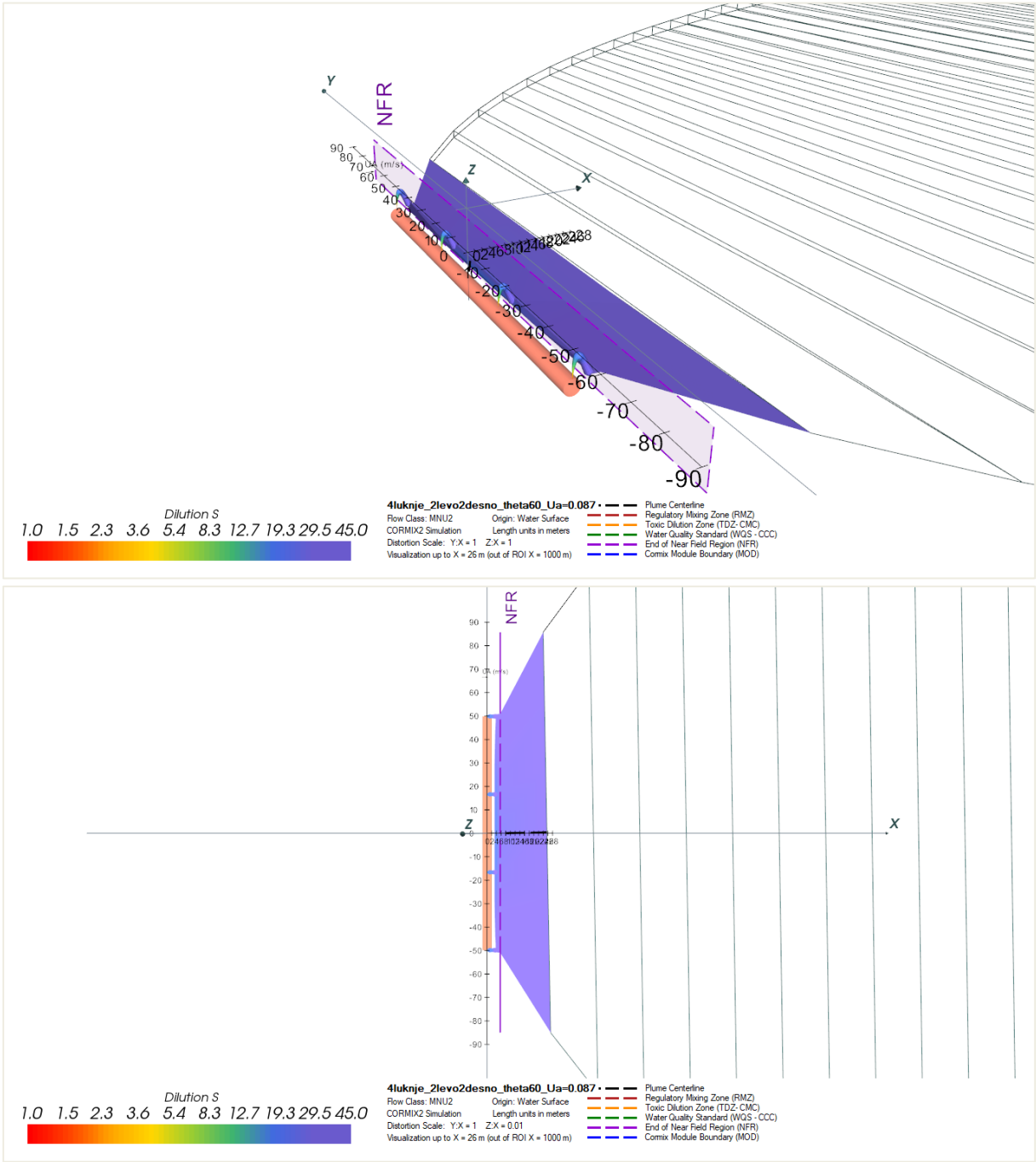
B.3 Scenarij 3–Primer 2



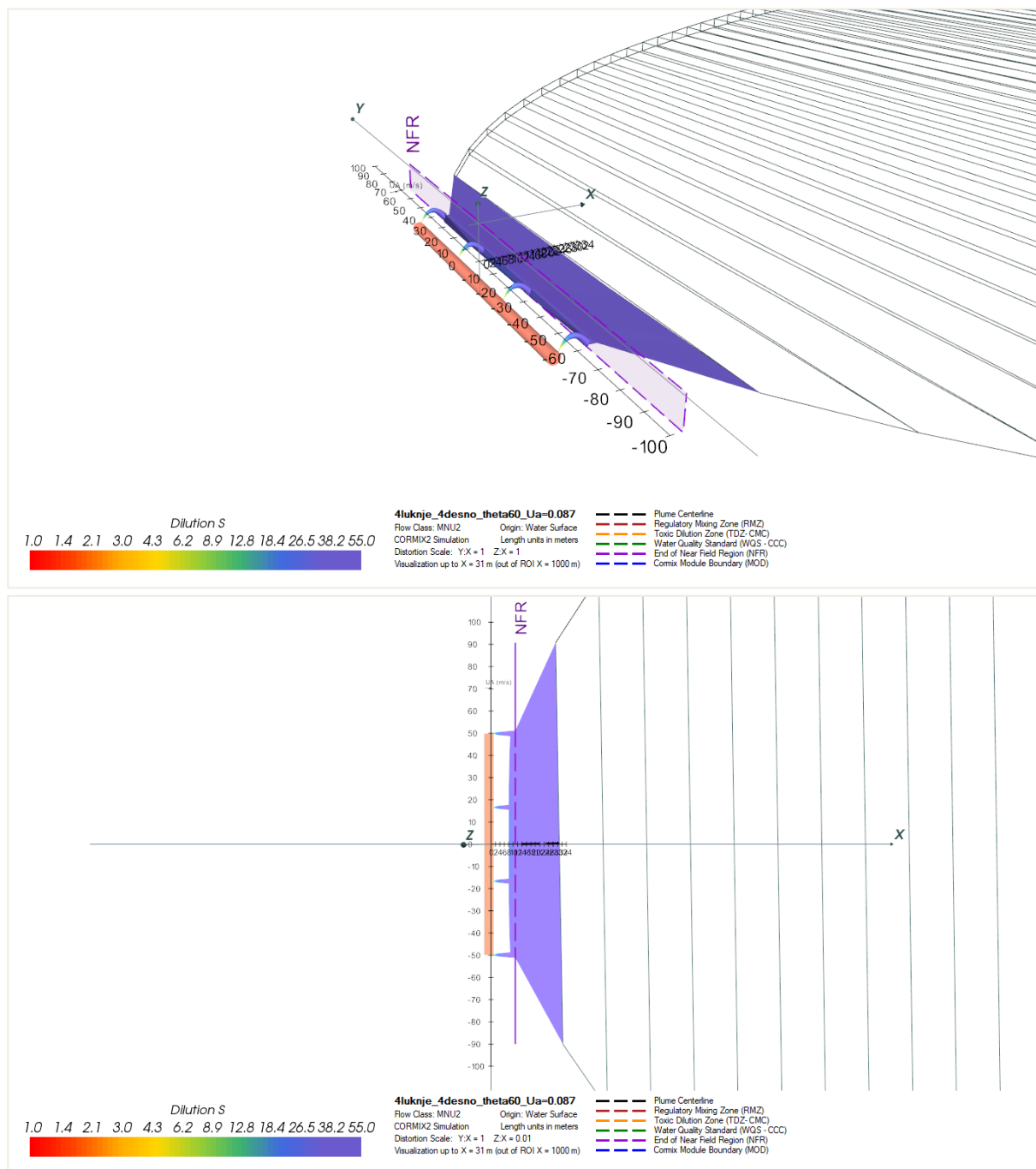
B.4 Scenarij 4–Primer 2



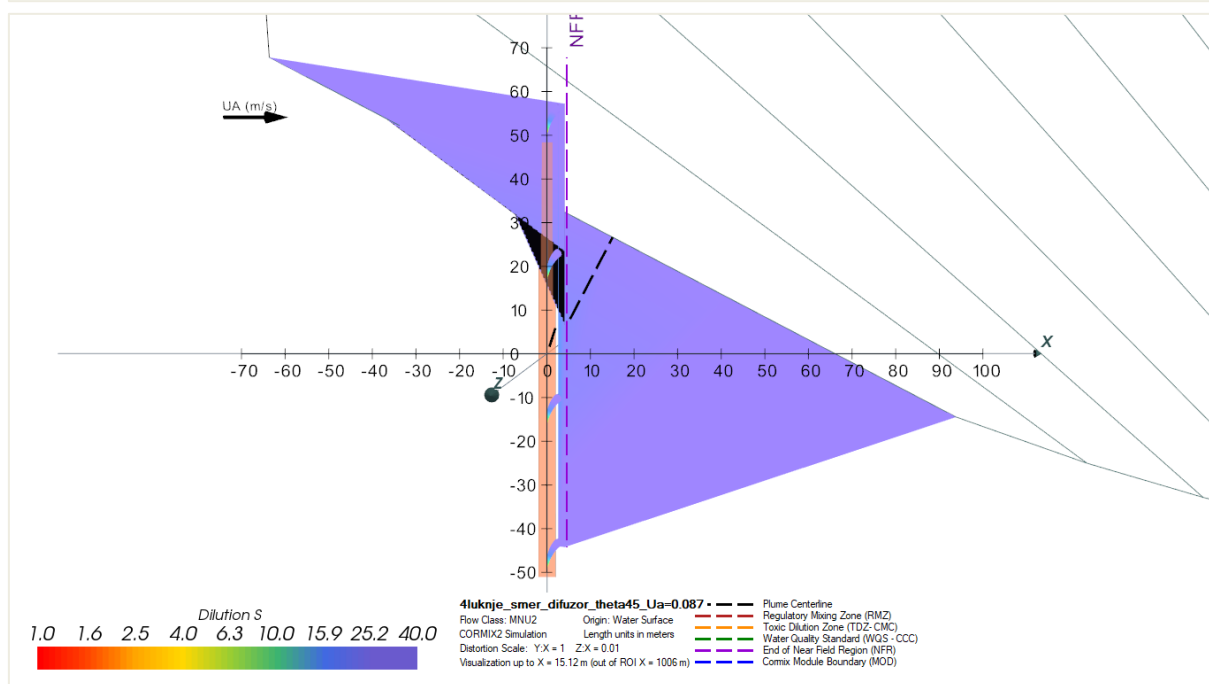
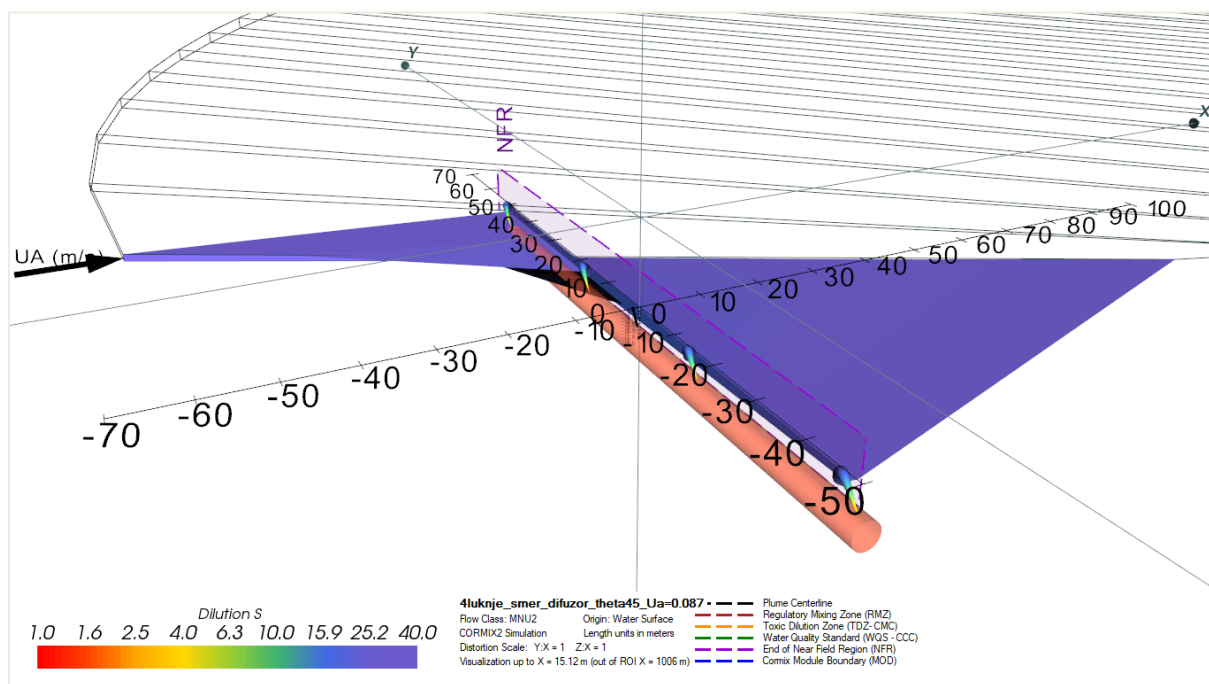
B.5 Scenarij 5–Primer 2



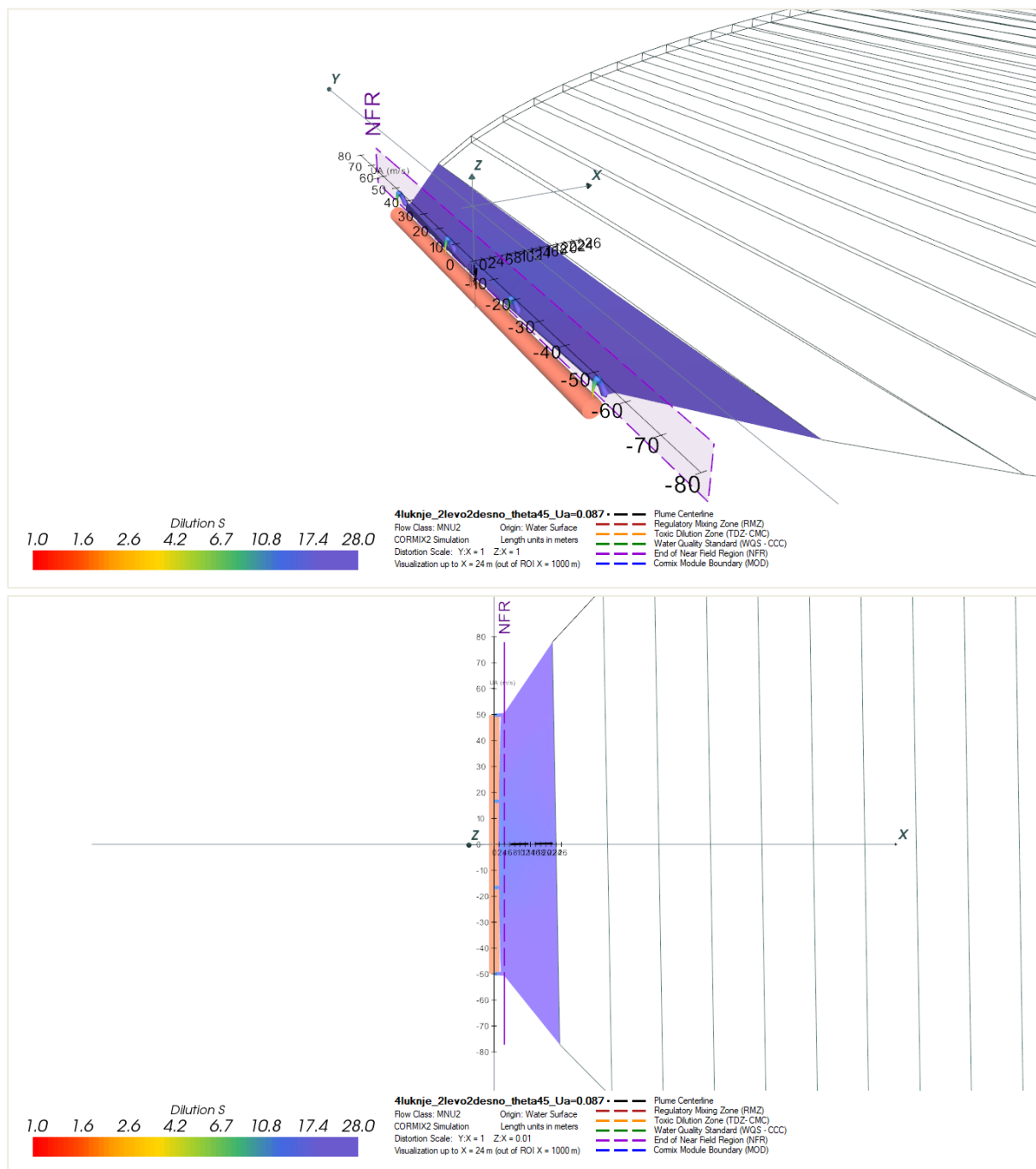
B.6 Scenarij 6–Primer 2



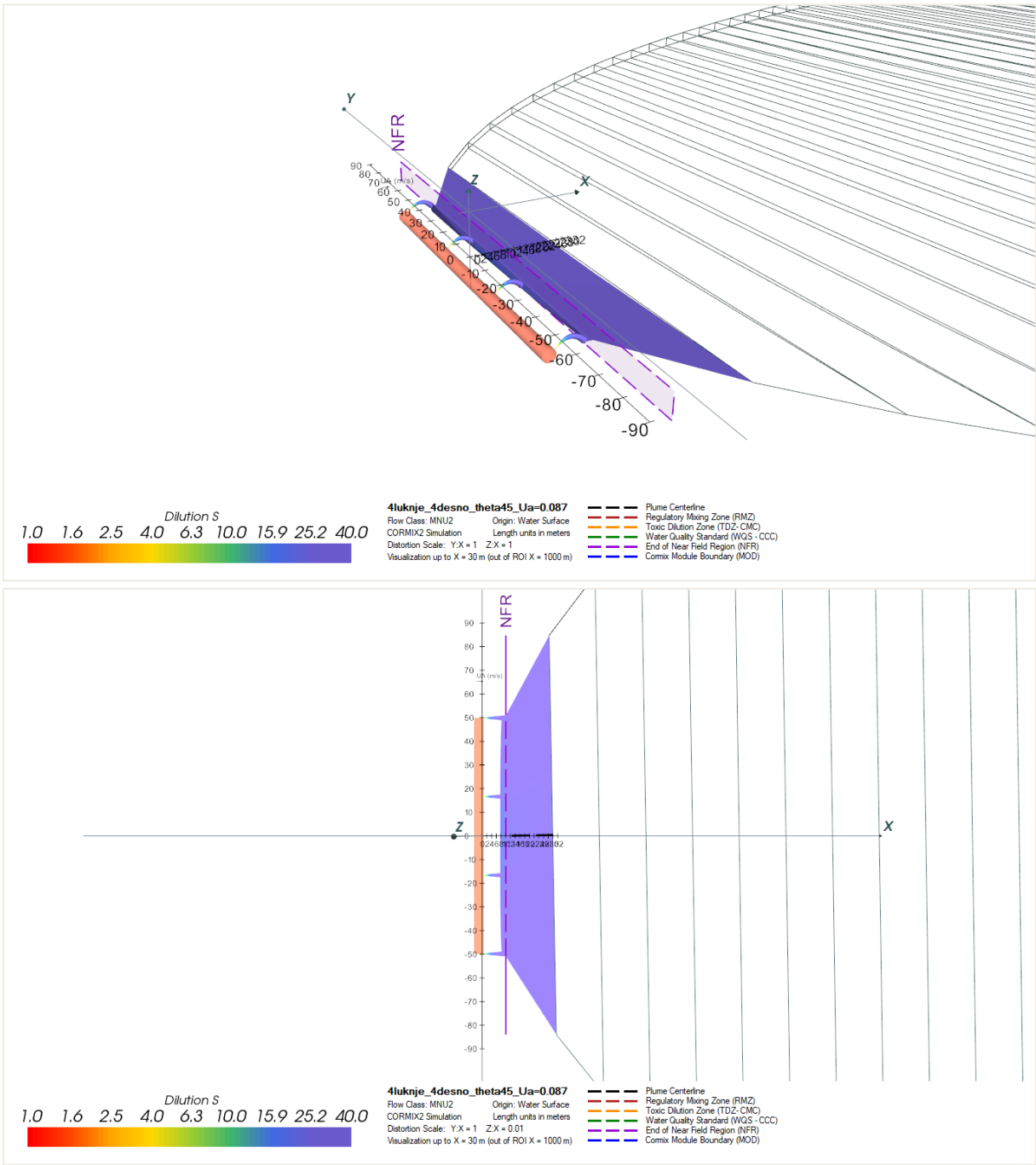
B.7 Scenarij 7–Primer 2



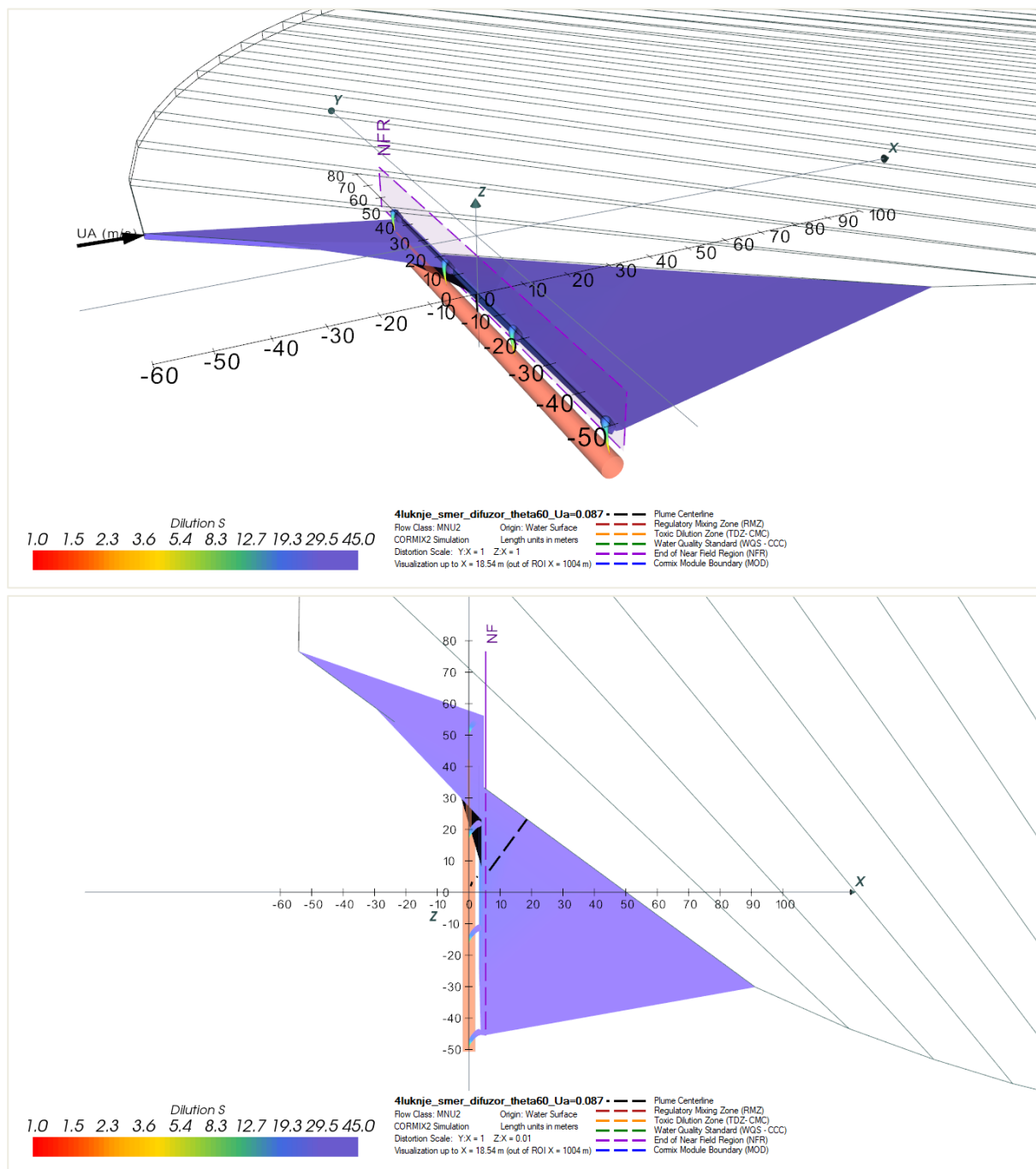
B.8 Scenarij 8–Primer 2



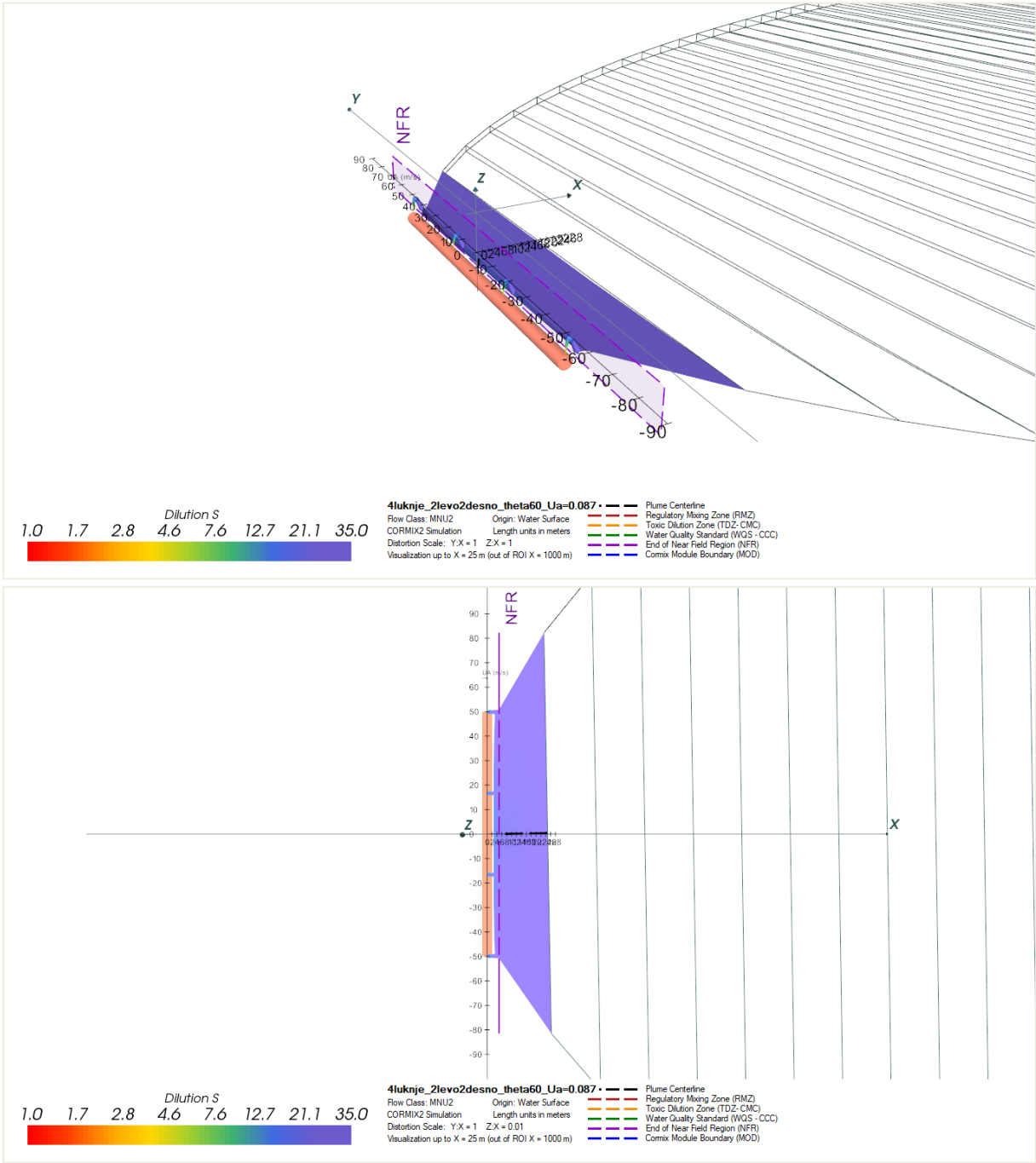
B.9 Scenarij 9–Primer 2



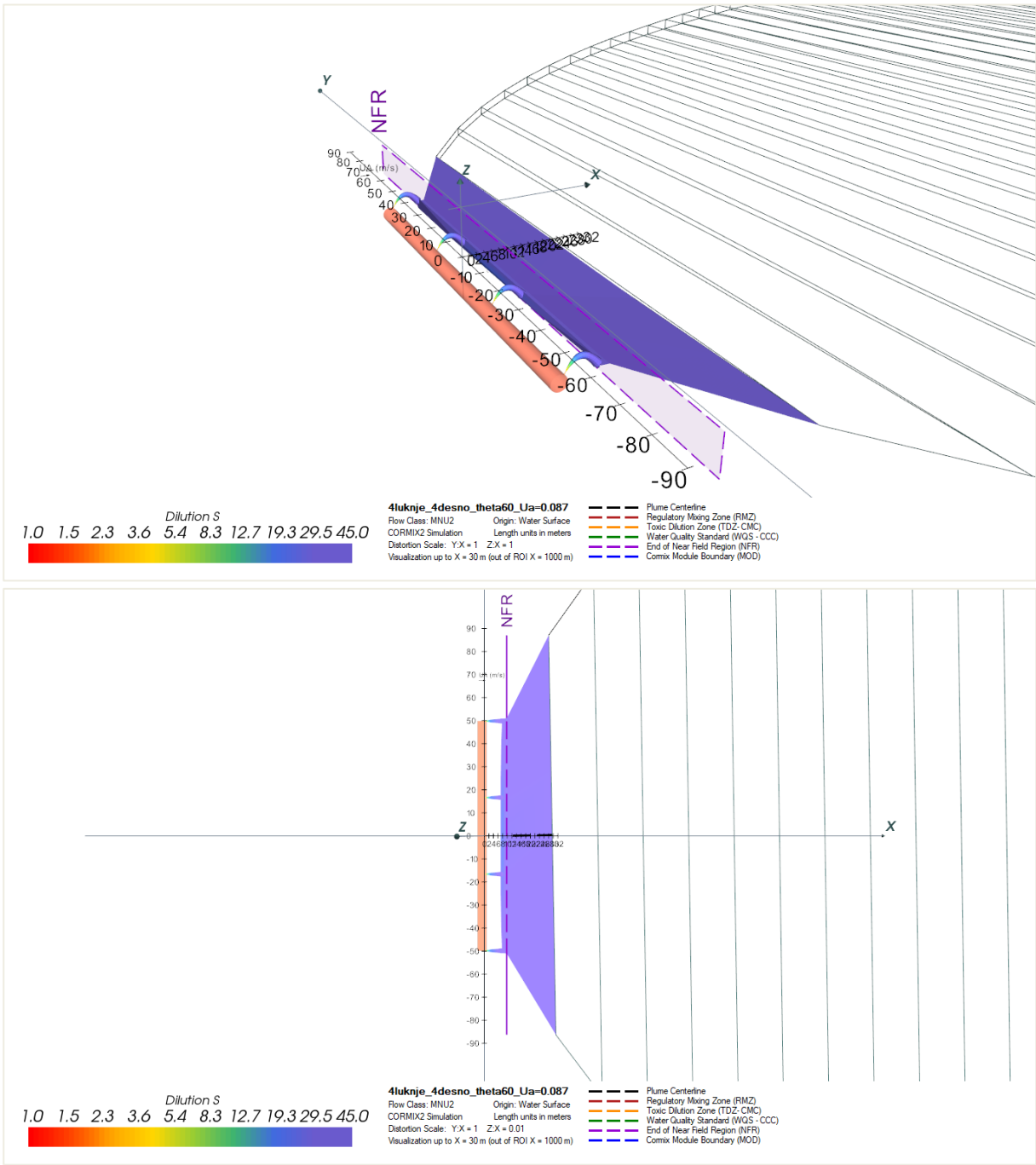
B.10 Scenarij 10–Primer 2



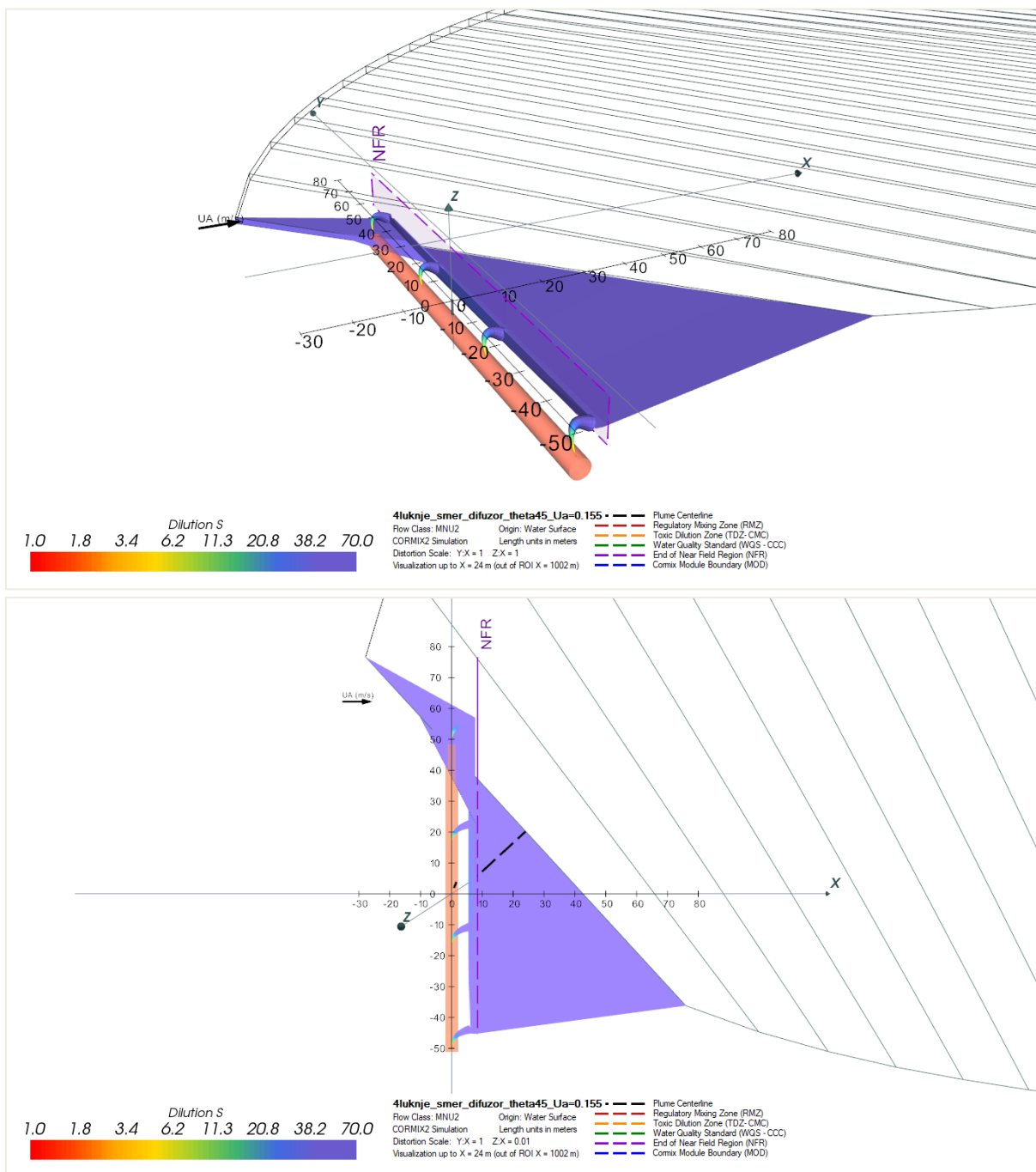
B.11 Scenarij 11–Primer 2



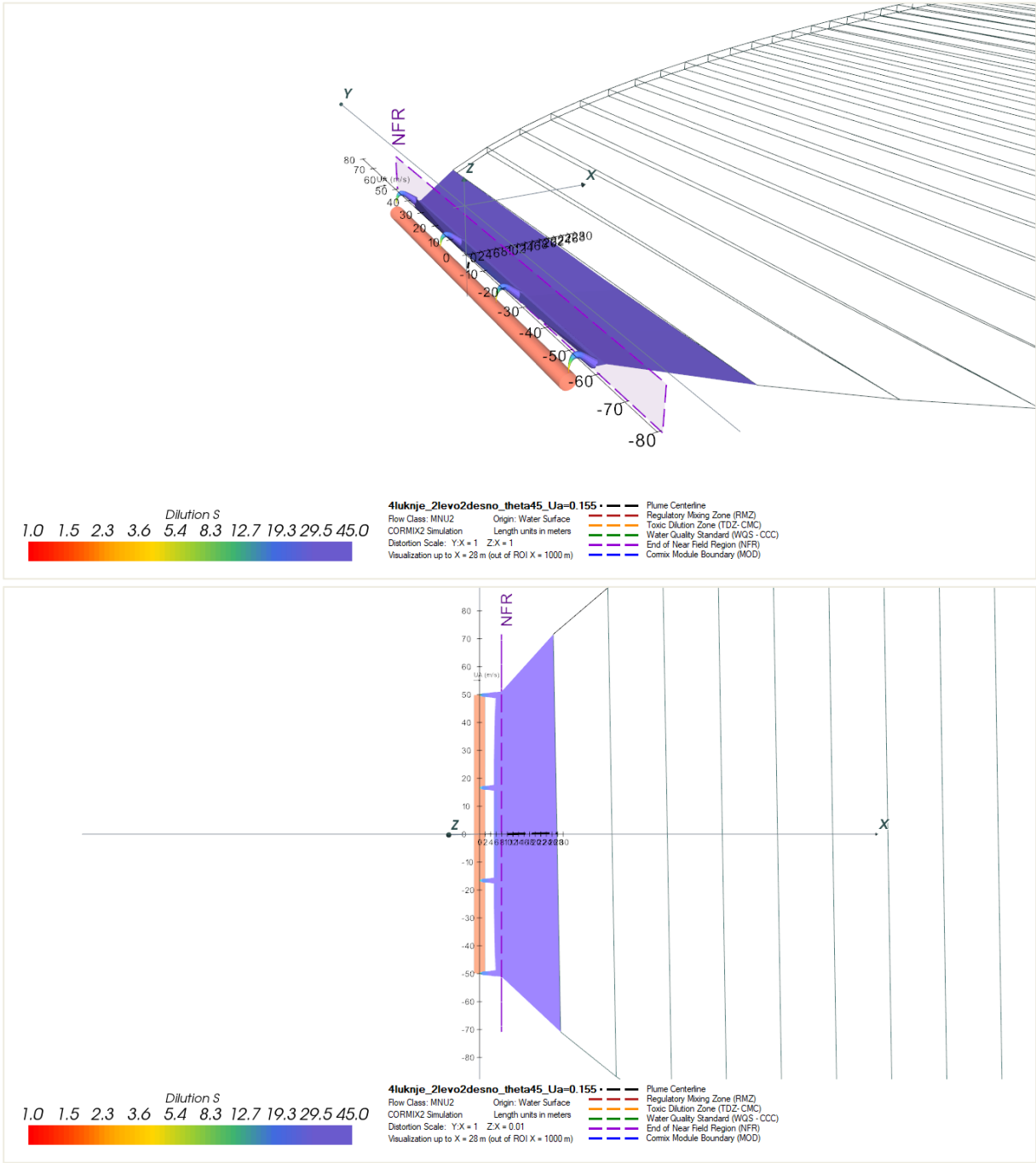
B.12 Scenarij 12–Primer 2



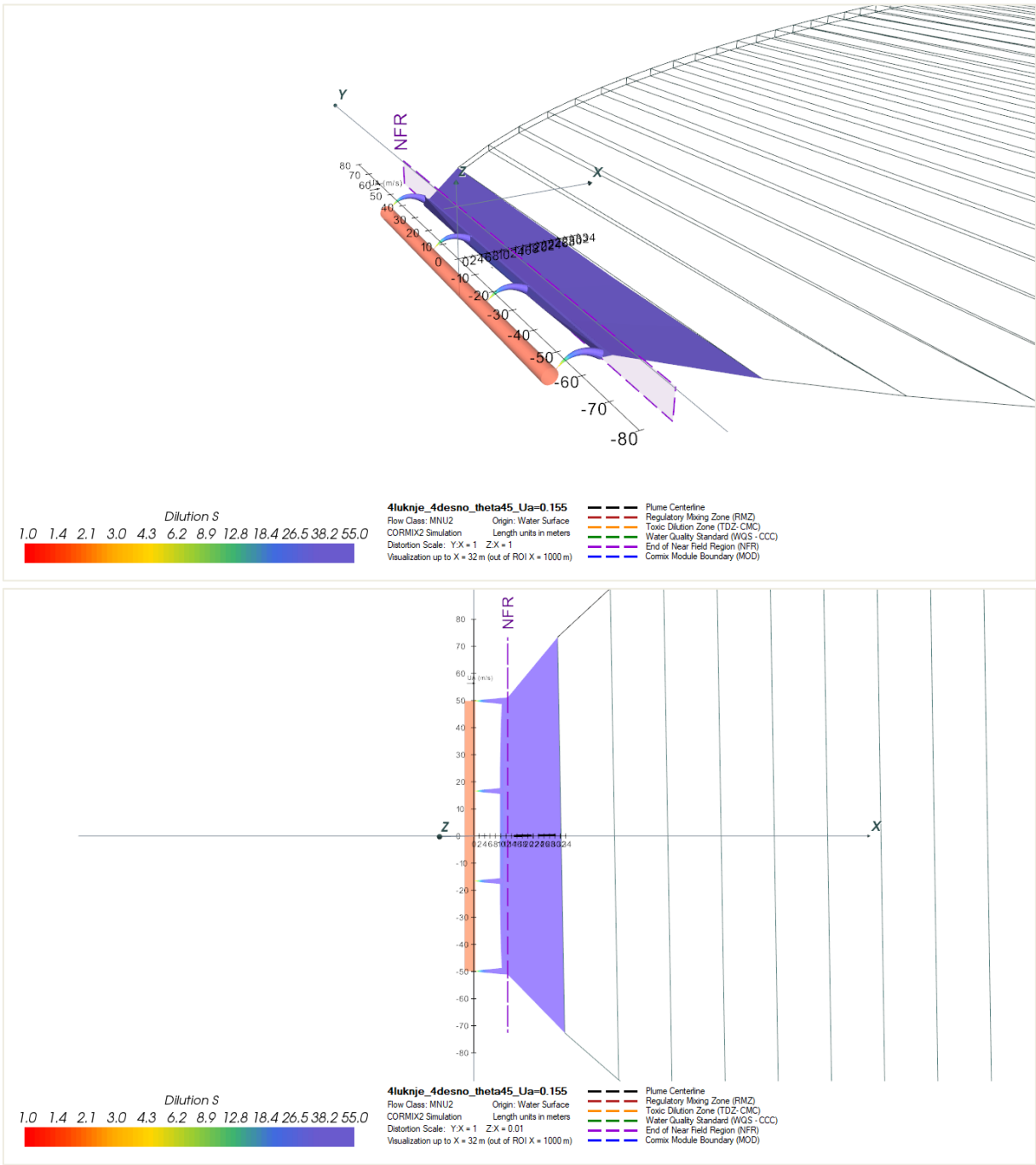
B.13 Scenarij 13–Primer 2



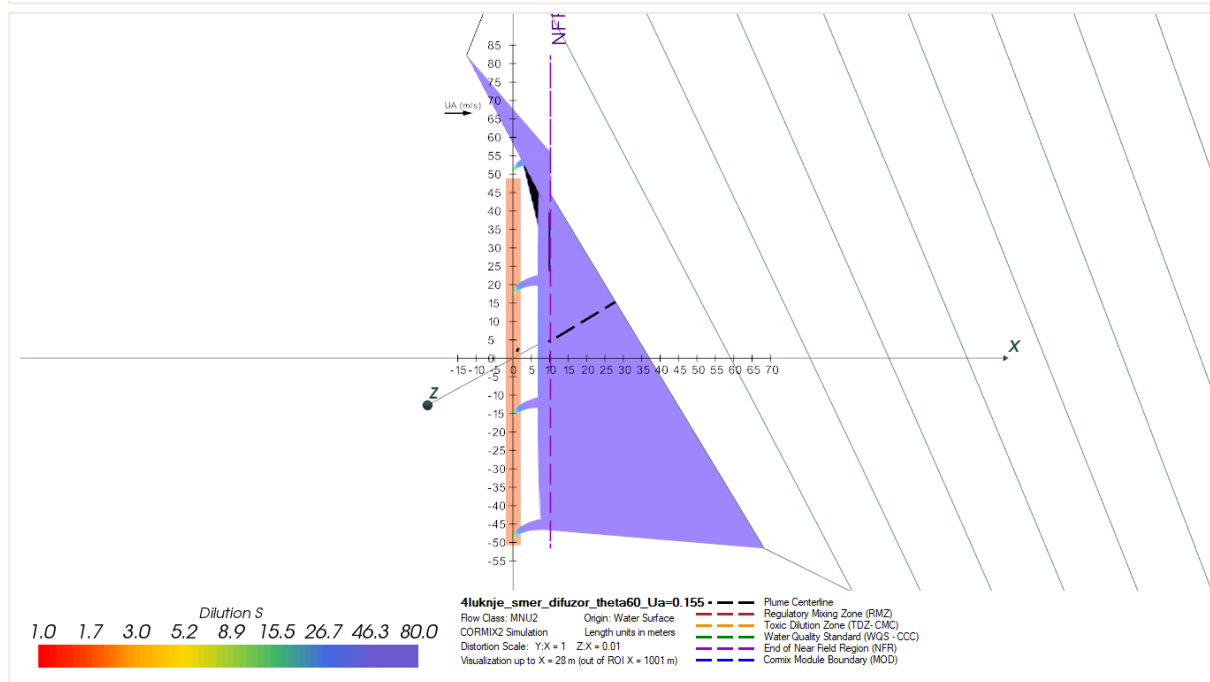
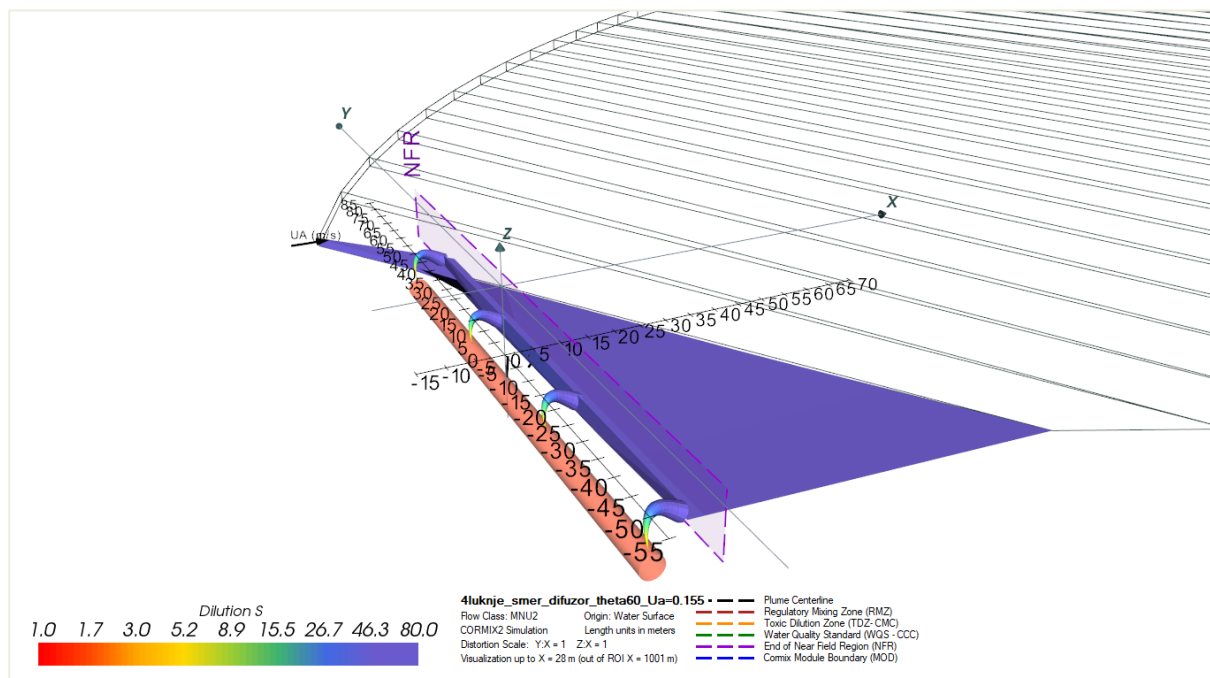
B.14 Scenarij 14–Primer 2



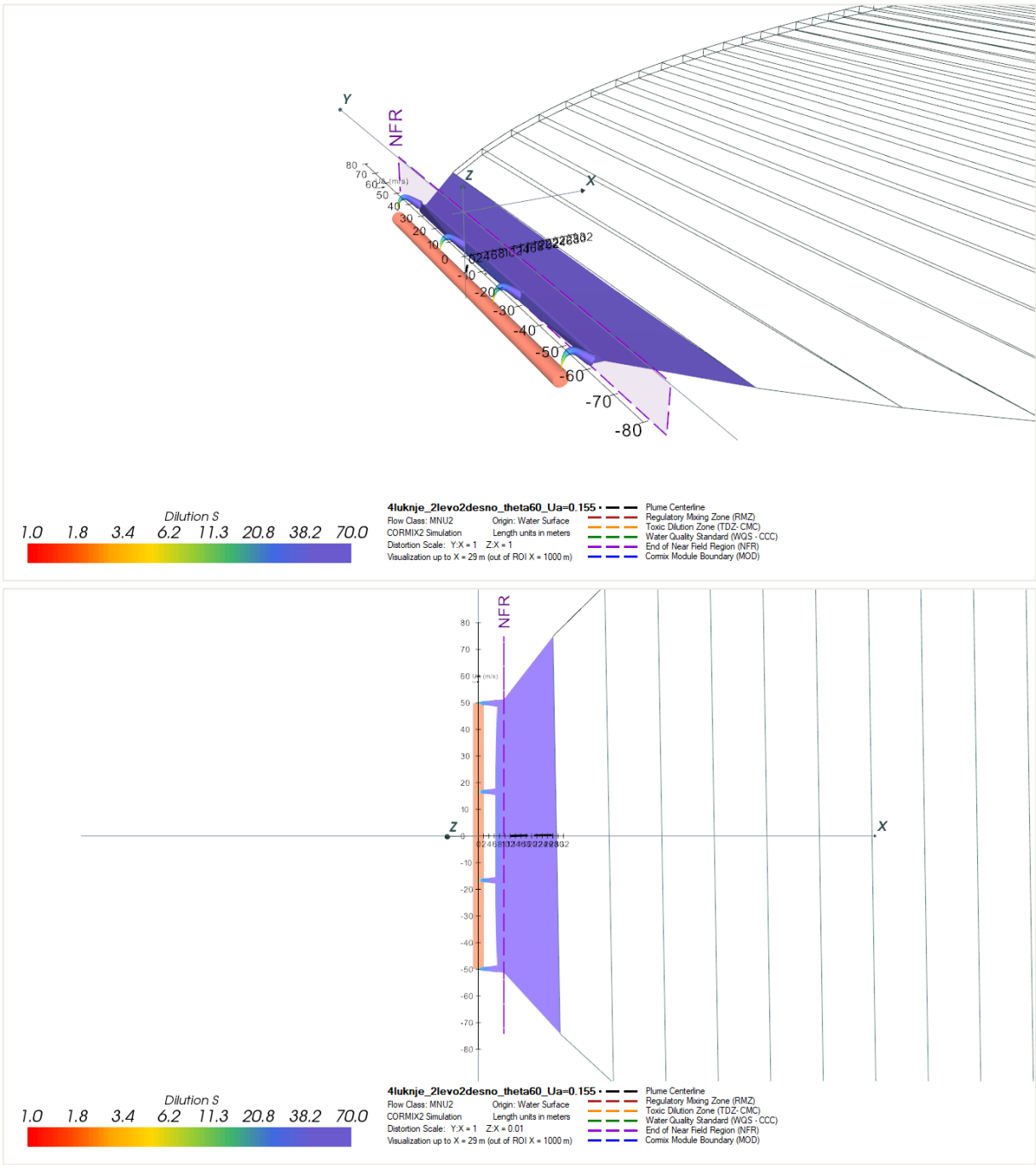
B.15 Scenarij 15–Primer 2



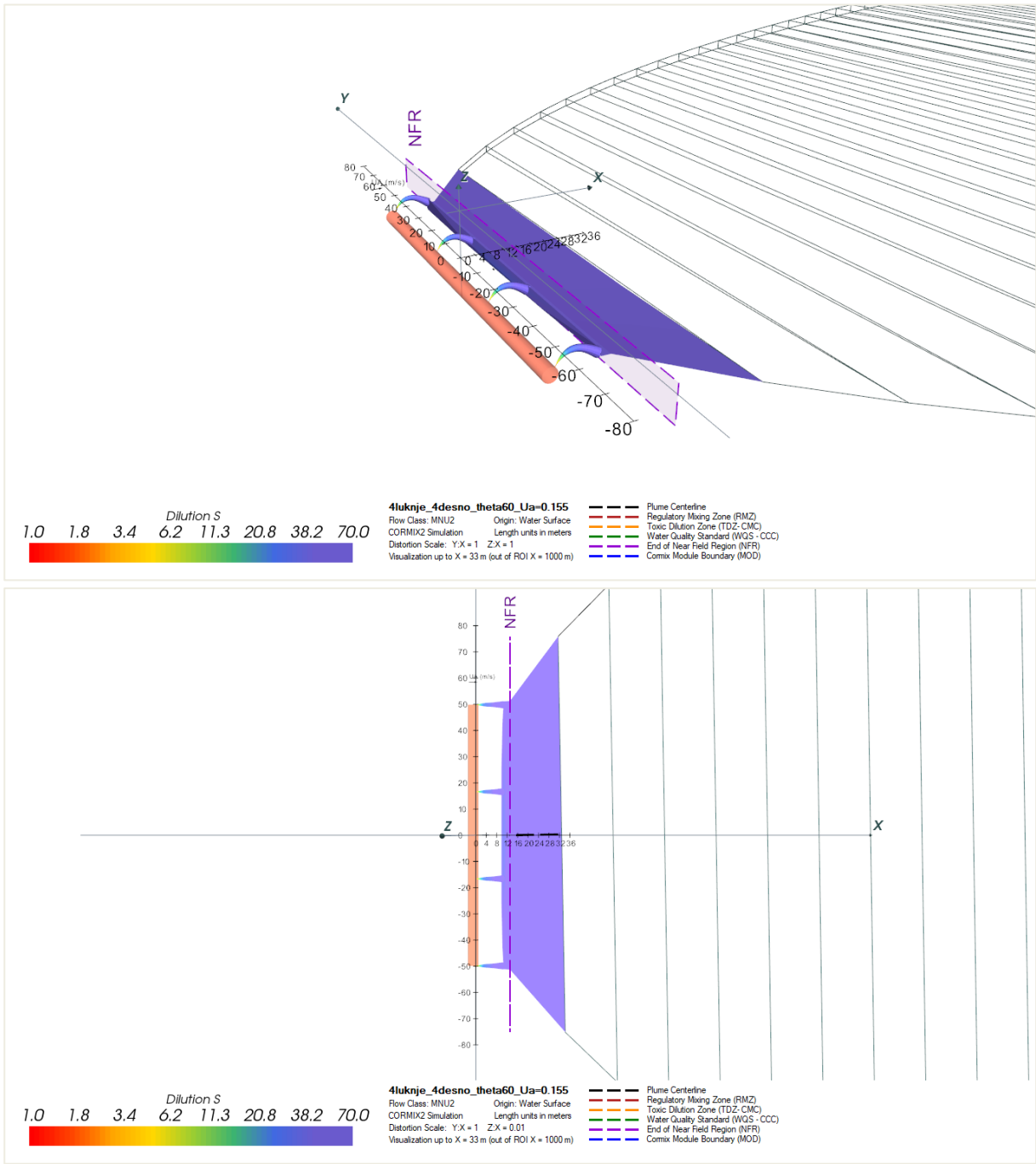
B.16 Scenarij 16–Primer 2



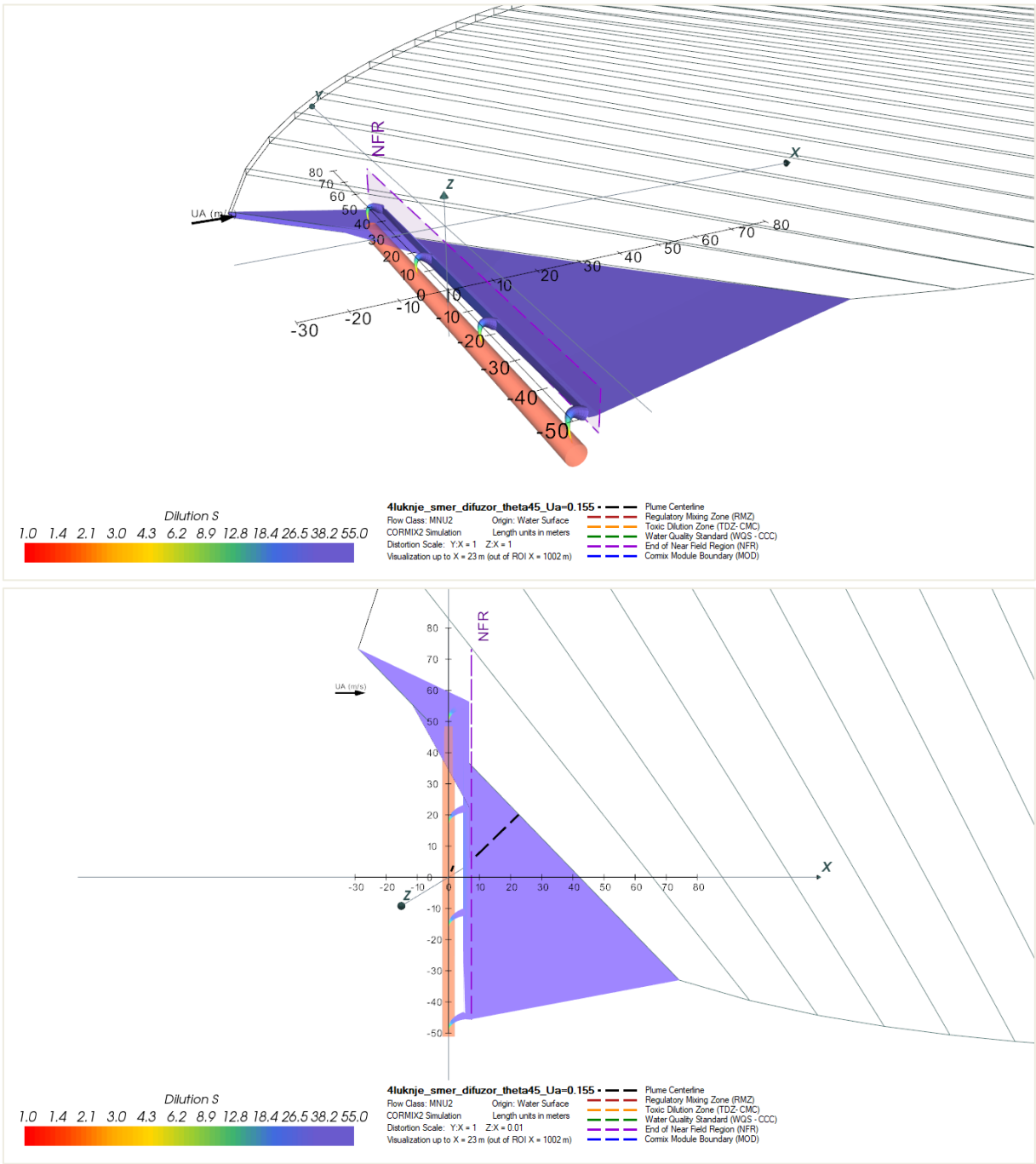
B.17 Scenarij 17–Primer 2



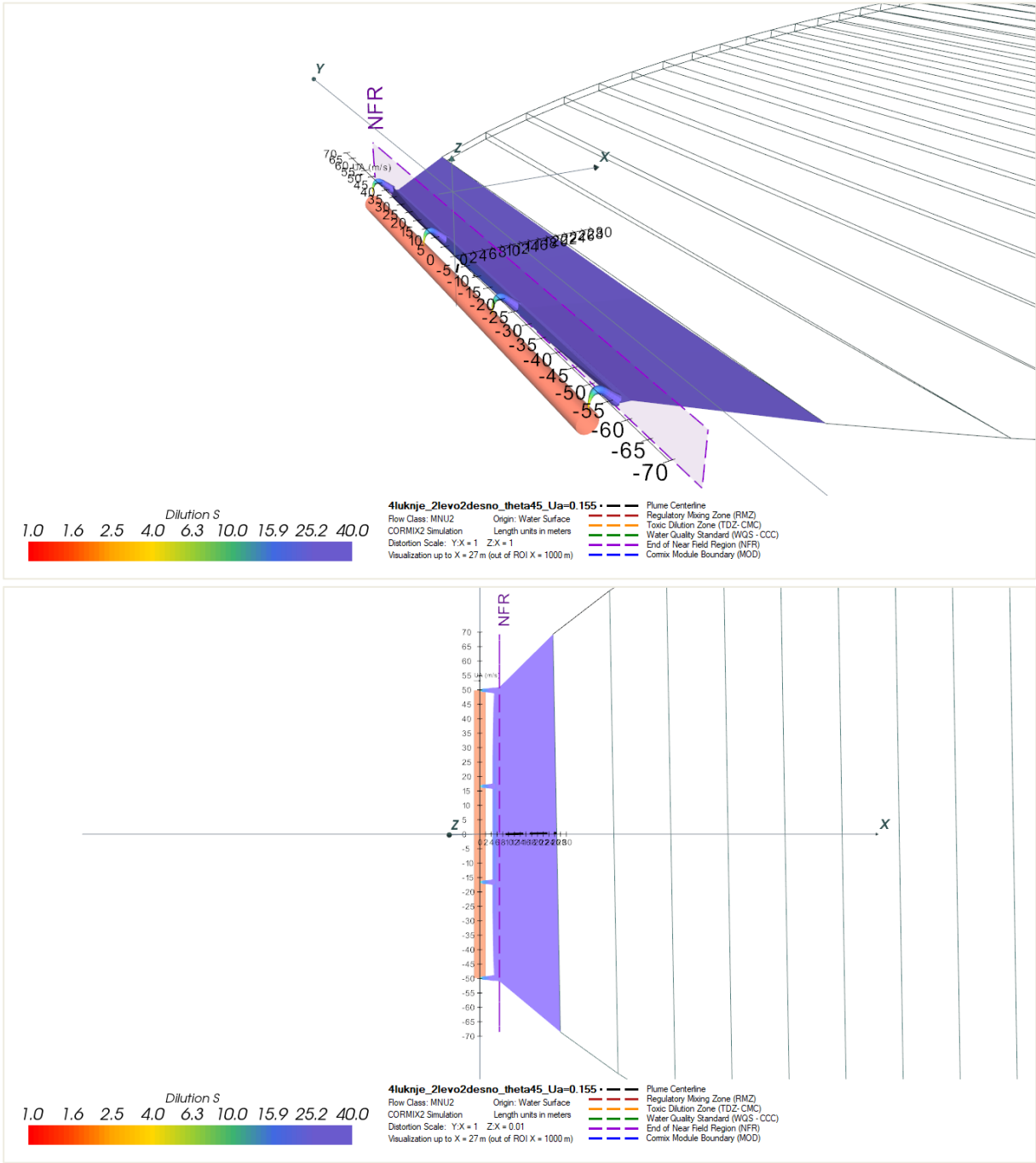
B.18 Scenarij 18–Primer 2



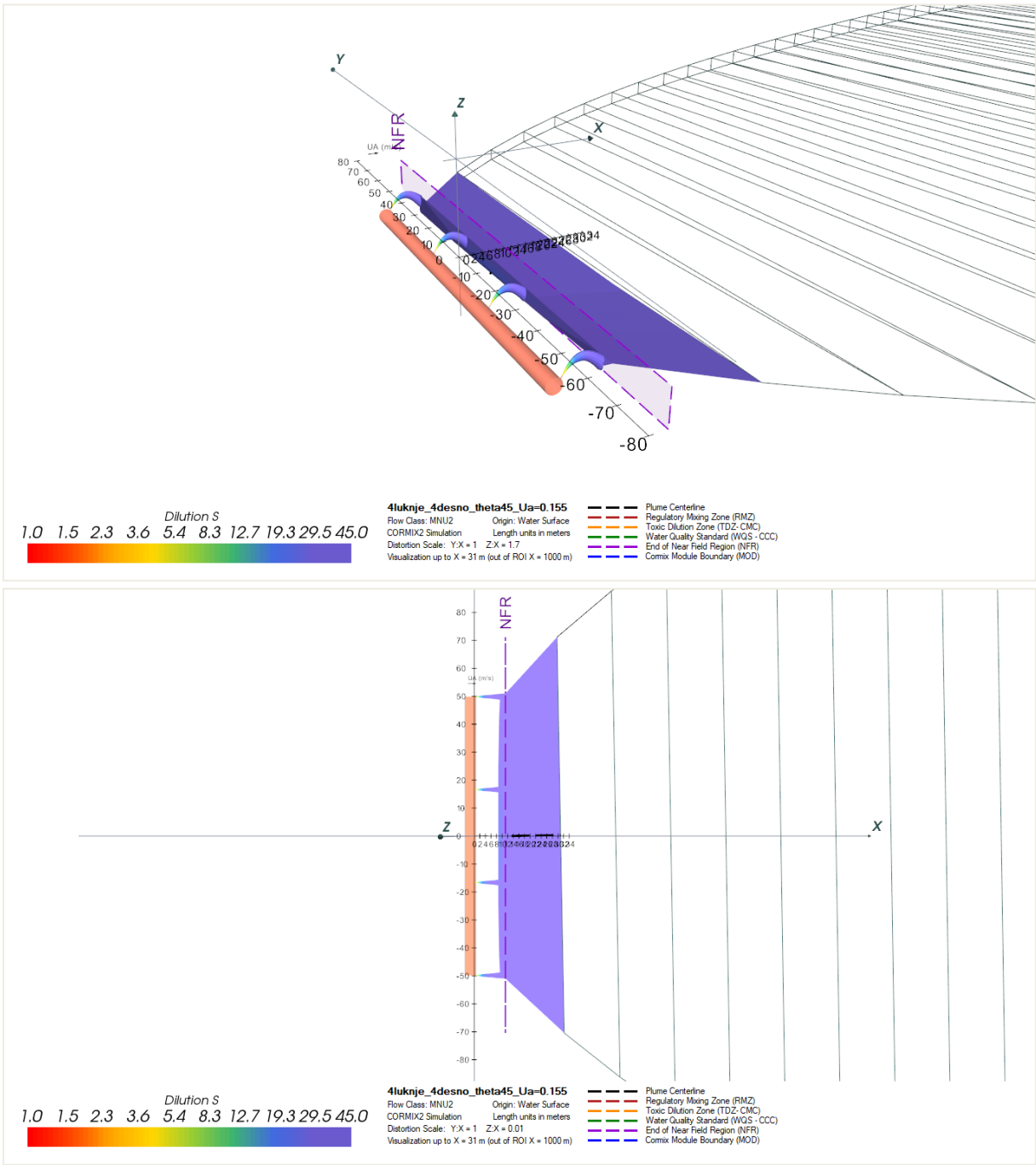
B.19 Scenarij 19–Primer 2



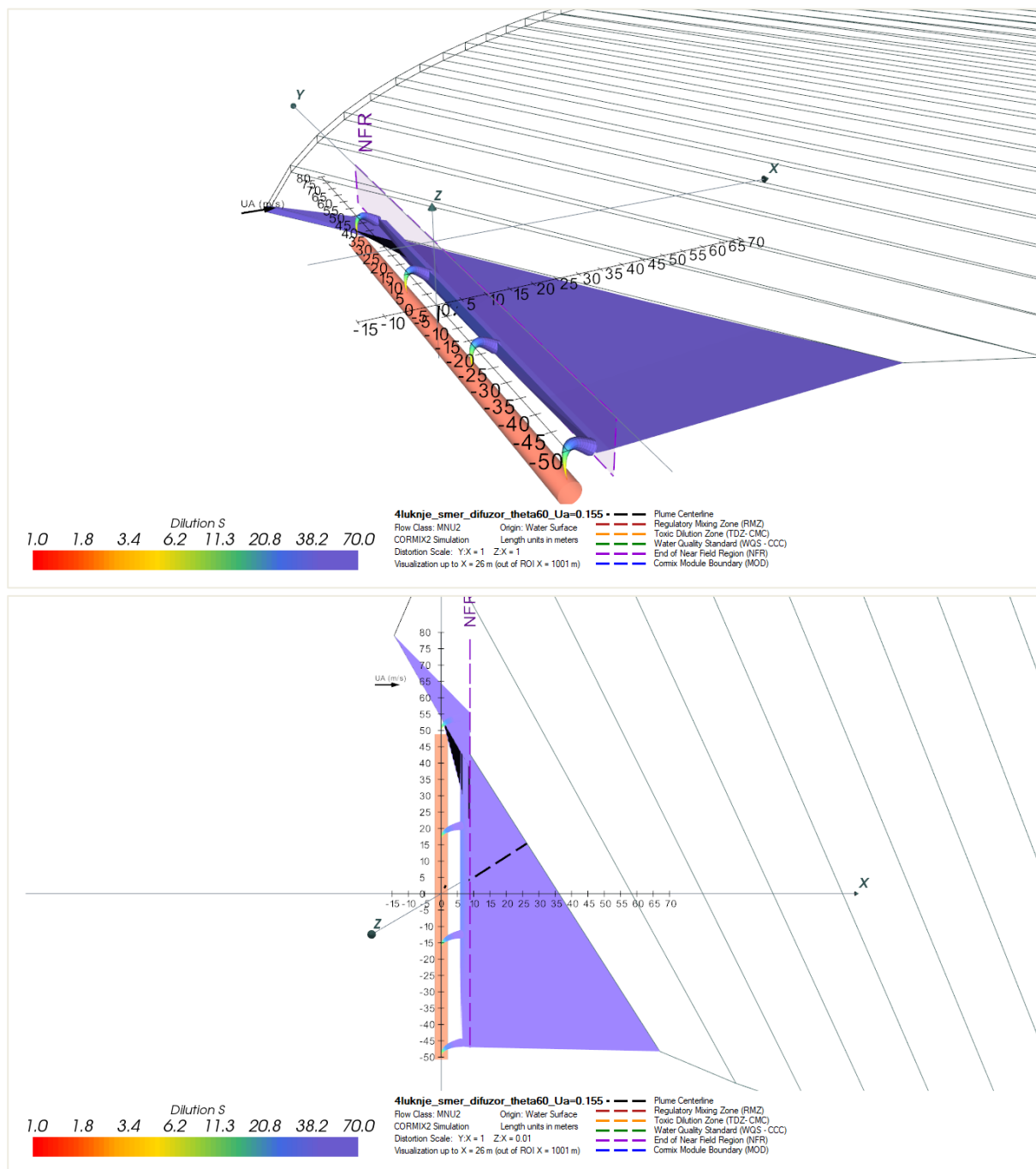
B.20 Scenarij 20–Primer 2



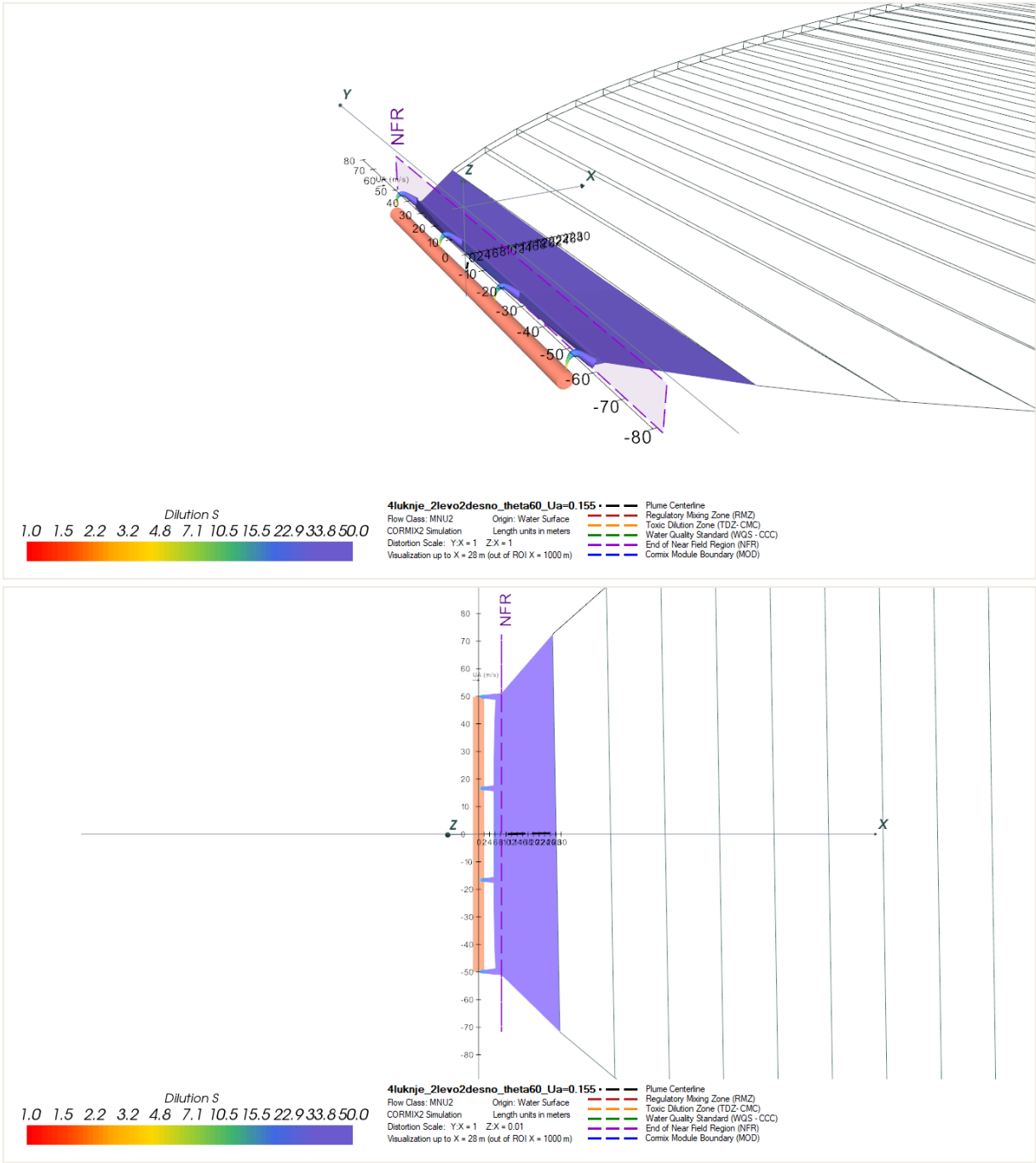
B.21 Scenarij 21–Primer 2



B.22 Scenarij 22–Primer 2



B.23 Scenarij 23–Primer 2



B.24 Scenarij 24–Primer 2

