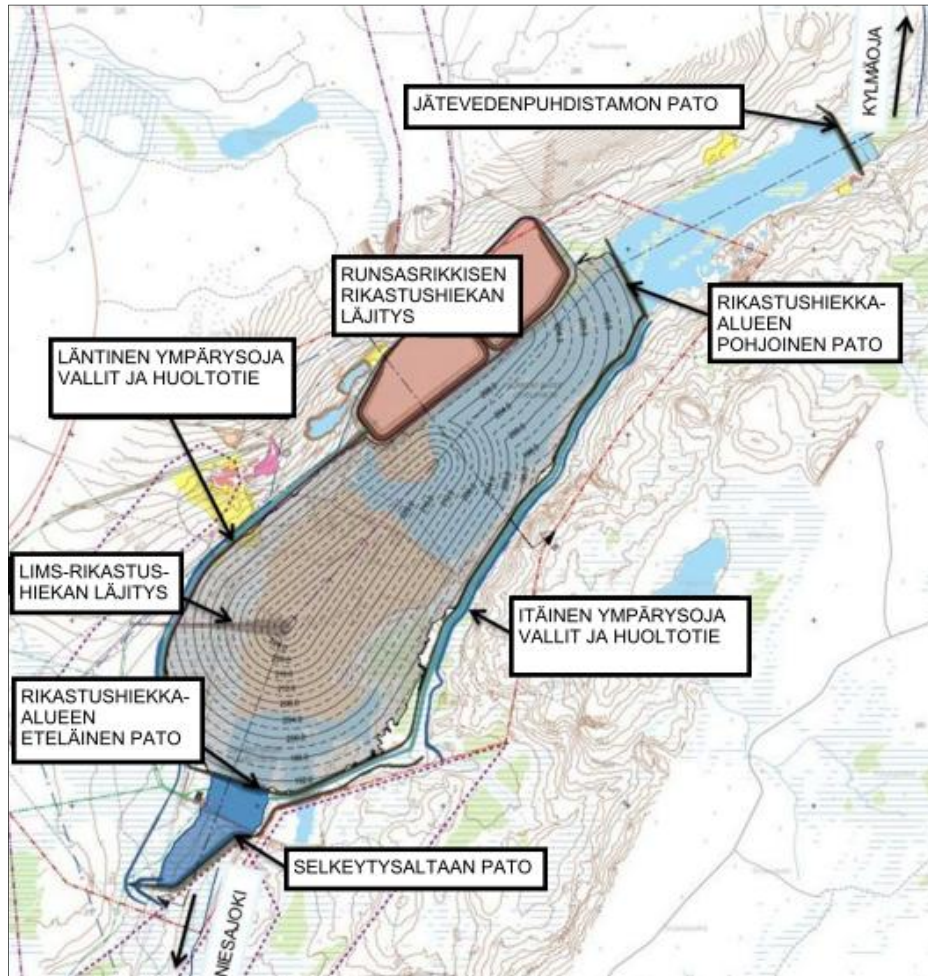


Täydennyspyyntö, kohta 112)

Alustavat stabiliteettilaskelmat padoista

ALUSTAVAT PATOJEN SUOTO- JA STABILITEETTIKALASKELMAT

Patojen alustavat suoto- ja stabiliteettilaskelmat on tehty vuonna 2013, joiden yhteenveto on esitetty seuraavassa.



1 SUOTOVESILASKENNAT

1.1 Laskentamenetelmät

Suotovesilaskelmat on tehty käyttäen SLIDE –laskentaohjelmaa (Rockscience Inc.). Laskenta perustuu elementtimenetelmään pysyvän suotovirtaustilan laskennassa. Jokaiselle maakerrokselle määritetään vedenjohtavuusparametrit. Annettujen reunaehtojen perusteella ohjelma laskee suotovesipinnan tason, huokospaineen, virtaussuunan, virtausnopeuden, hydraulisen paineen jne.

Suotovesilaskentoja ei ole tehty rikastushiekka-alueen pohjoiselle ja eteläiselle padolle johtuen pienestä hydraulisesta paineesta. Suotovesilaskentaa ei ole myöskään tehty

runsasrikkisen rikastushiekka-altaan padolle, koska padon sisäluisassa on keinotekoinen eriste.

1.2 Jätevedenpuhdistamon padon korotus

Jätevedenpuhdistamon padon korotuksen osalta laskentapoikkileikkaus on valittu kohdalta, missä pato on korkeimmillaan, korkeus noin 8,6 m.

Suotovesilaskenta on tehty kahdessa eri tapauksessa:

- **Tapaus 1:** Normaali vedenkorkeus ja vakiosuotovirtaustila padon läpi. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.2.1
- **Tapaus 2:** Kuten edellinen tapaus, mutta padon alla on hyvin vettä johtava kerros. Pohjamaan karkea kerros on oletettu sijaitsevan heti ohuen pintamoreenikerroksen alapuolella. Altaan puolella karkea kerros on suoraan yhteydessä altaan pohjalle. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.2.2.

Molemmissa tapauksissa suotolaskenta on tehty altaan vedenpinnan tasolla +191,00.

Tapauksessa 1, suotautuvan veden määrä on noin $7,3 \cdot 10^{-4}$ l/s/m (65 l/vrk/m). Lähes koko suotautuvan veden määrä purkautuu padon paaluväliltä 28 – 400. Muulta padon osalla ei käytännössä ole lainkaan hydraulista painetta. Siten suotautuvan veden kokonaismäärä on noin 20 – 30 m³/vrk (7 300 – 11 000 m³/vuosi).

1.3 Selkeytsaltaan pato

Laskentapoikkileikkaus on valittu kohdalta, missä pato on korkein noin 12,3 m.

Suotovesilaskenta on tehty kahdessa eri tapauksessa:

- **Tapaus 1:** Altaan korkein vedenpinnan taso ja normaali suotovirtaustila vakiosuotovirtaamalla padon läpi. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.3.1
- **Tapaus 2:** Kuten edellinen tapaus, mutta padon alla on hyvin vettä johtava kerros. Pohjamaan karkea kerros on oletettu sijaitsevan heti ohuen pintamoreenikerroksen alapuolella. Altaan puolella karkea kerros on suoraan yhteydessä altaan pohjalle. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.3.2.

Molemmissa tapauksissa suotolaskenta on tehty altaan vedenpinnan tasolla +191,00.

Laskettu suotovirtaus padon läpi tapauksessa 1 on $3,5 \cdot 10^{-3}$ l/s/m (303 l/vrk/m). Pääosa suotautumisesta tapahtuu paaluvälillä 200 – 750. Muualta padon läpi suotautuvan veden määrä on pienempi, koska hydraulinen paine korkeimmalla vedenpinnan tasolla vaihtelee välillä 0 - 4 m. Altaan vedenpinnan tasolla +191,00 kokonaissuotautuminen on noin 150 – 250 m³/d (55 000 – 91 500 m³/vuosi).

Laskettu suotovirtaus padon läpi tapauksessa 2 on $6,0 \cdot 10^{-3}$ l/s/m (520 l/vrk/m). Tämän perusteella karkea kerroksen padon alla koko padon leveydellä, suotovirtaama altaan vedenpinnan tasolla +191,00 on noin 300 – 400 m³/d (110 000 – 150 000 m³/vuosi).

1.4 Rikastushiekka-altaan pato

Rikastushiekka-altaan padon laskentapoikkileikkaukseksi on valittu padon korkein kohta itäpuolen padolta, padon korkeus noin 6,5 m. Vedenpinta on oletettu olevan 2m padon harjan alapuolella, mikä on myös rikastushiekan suunniteltu maksimitaso lopputilanteessa.

Suotovirtaama on laskettu kahdella tyyppipoikkileikkauksella:

- **Leikkaus 1:** Perus patotyyppi, jossa on moreenirunko ja eroosiosuojaus luiskissa. Vakiosuotovirtaama padon läpi normaaliolosuhteissa. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.4.1.
- **Leikkaus 2:** Kuten leikkaus 1, mutta padon alle on lisätty mineraalinen kuivatuskerros. Myös kaksi suodatinkerrosta on lisätty altaan puoleiseen luiskaa estämään kuivatuskerroksen tukkeutumisen hienolla rikastushiekalla. Patorakenne on suunniteltu lisäämään suotautumista rikastushiekka-altaan padon läpi suotovesien keräysojaan. Kuivatusrakenteiden väli padon pituussuunnassa on 20 m ja kunkin kuivatusrakenteen padon pituussuuntainen leveys on 1 m. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.4.2.

Suotautuvan veden määrä leikkauksessa 1 on noin $4,5 \cdot 10^{-3}$ l/s/m (390 l/s/m). Itäpuolen patopituudelta (pituus 2680 m vähennettynä kuivatusrakennekohdat 143 m (2680m/20m) suotautuminen on 900 – 1000 m³/vrk.

Suotautuminen leikkauksen 2 läpi on noin $1,4 \cdot 10^{-2}$ l/s/m (1210 l/s/m), joten itäisellä padolla suotautuminen leikkauksen 2 mukaisella rakenteella on 100 – 200 m³/vrk. Kokonaissuotautuminen itäpuolen padon läpi on noin 1000 – 1200 m³/vrk (365 000 – 438 000 m³/vuosi).

Vastaava suotovesimäärät länsipuolen padolle (pituus 2284 m vähennettynä 115 m (2284m/20m)) ovat; 750 – 850 m³/vrk leikkaukselle 1 ja 100 – 150 m³/vrk leikkaukselle 2. Kokonaissuotautuminen on 50 – 1000 m³/vrk (311 000 – 365 000 m³/vuosi).

2 STABILITEETTI

2.1 Laskentamenetelmät ja laskentatapaukset

Kaikki stabiliteetilaskelmat on tehty käyttäen SLIDE –laskentaohjelmaa (Rockscience Inc.). Laskenta on tehty ympyränmuotoisilla liukupinnoilla käyttäen Bishopin yksinkertaista menetelmää, jossa tarkastellaan pystysuuntaisten lamellien momenttitasapainoehdot ympyrän keskipisteen suhteen.

Kaikille padoille stabiliteetilaskennat on tehty patoturvallisuusoppaan mukaisesti (Torkkel; Isomäki; Maijala & Sulkakoski, 2012) kahdessa tapauksessa:

- **Tapaus 1:** Vaadittu kokonaisvarmuuskerroin on 1,5 normaalissa suotovirtaustilanteessa ja vedenkorkeuden ollessa HW-tasolla.
- **Tapaus 2:** Vaadittu kokonaisvarmuuskerroin poikkeustilanteissa on 1,3. Poikkeustilanteena on laskettu äkillinen vedenpinnan lasku, jolloin altaan vedenpinta laskee nopeasti HW-tasolta pohjan tasolle.

2.2 Jätevedenpuhdistamon padon korotus

Jätevedenpuhdistamon padon korotuksen osalta laskentapoikkileikkaus on valittu kohdalta, missä pato on korkeimmillaan, korkeus noin 8,6 m.

Normaalissa suotovirtaustilanteessa (tapaus 1) pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,72. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.5.1.

Jätevedenpuhdistamon padon korotus on suunniteltu pääasiassa lisäämään vesivarastokapasiteettia pohjoisaltaassa korkearikkisen rikastushiekka-altaan patosortuman varalle. Tämä vuoksi pato on suunniteltu kestäväksi äkillinen vedenpinnan nousu normaalista HW-tasosta +191,00 tasolle +194,60, mihin vesipinta enimmillään nousee korkearikkisen rikastushiekka-altaan padon sortuessa. Tämä on oletettu tapauksen 2 mukaiseksi poikkeustilanteeksi, jolloin pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,66. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.5.2.

Lisäksi on laskettu padon stabiliteetti korkearikkisen rikastushiekka-altaan padon sortumatapauksessa siten, että jätevesilaitoksen padon suodatin on tukkeutunut hienoaineksella. Tässä tapauksessa pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,29. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.5.3.

2.3 Runsarikkisen rikastushiekka-alueen pato

Laskentapoikkileikkaus on kohdalta, missä padon korkeus on suurin, noin 24,0 metriä.

Normaalissa suotovirtaustilanteessa (tapaus 1) pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,60. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.6.1.

Altaan äkillinen vedenpinnan lasku ei vaikuta padon suotovirtaustilanteeseen johtuen altaan sisäluisikan geomembraanitiivisteestä.

2.4 Rikastushiekka-alueen pohjoinen pato

Laskentapoikkileikkaus on kohdalta, missä padon korkeus on suurin, noin 8,5 metriä.

Normaalissa suotovirtaustilanteessa (tapaus 1) pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,68. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.7.1.

Tapauksessa 2 on oletettu, että jätevesilaitoksen pato sortuu ja vesipinta pohjoisaltaassa laskee nopeasti altaan pohjan tasolle. Tässä tapauksessa pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,30. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.7.2.

2.5 Rikastushiekka-alueen eteläinen pato

Laskentapoikkileikkaus on kohdalta, missä padon korkeus on suurin, noin 11,5 metriä.

Normaalissa suotovirtaustilanteessa (tapaus 1) pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,61. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.8.1.

Tapauksessa 2 on oletettu, että eteläinen selkeytysaltaan pato sortuu ja vesipinta selkeytysaltaassa laskee nopeasti altaan pohjan tasolle. Tässä tapauksessa pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,37. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.8.2.

2.6 Rikastushiekka-alueen (LIMS) reunapato

Laskentapoikkileikkaus on itäpuolen padon kohdalta, missä padon korkeus on suurin, noin 6,5 metriä.

Normaalin suotovirtaustilanteen (tapaus 1) stabiliteetti on laskettu tilanteessa, kun rikastushiekkan yläpinta on 2 m padon harjan alapuolella. Vedenpinta altaassa on oletettu olevan maksimitasolla padon harjan taso -1,5 m. Tässä tapauksessa pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,50. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.9.1.

Tapauksessa 2 on oletettu, että altaan purkuputkin on tukkeutunut ja vedenpinta altaassa on noussut padon moreenitiivisteeseen yläpinnan tasoon. Tässä tapauksessa pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,36. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.9.2.

2.7 Selkeytsaltaan pato

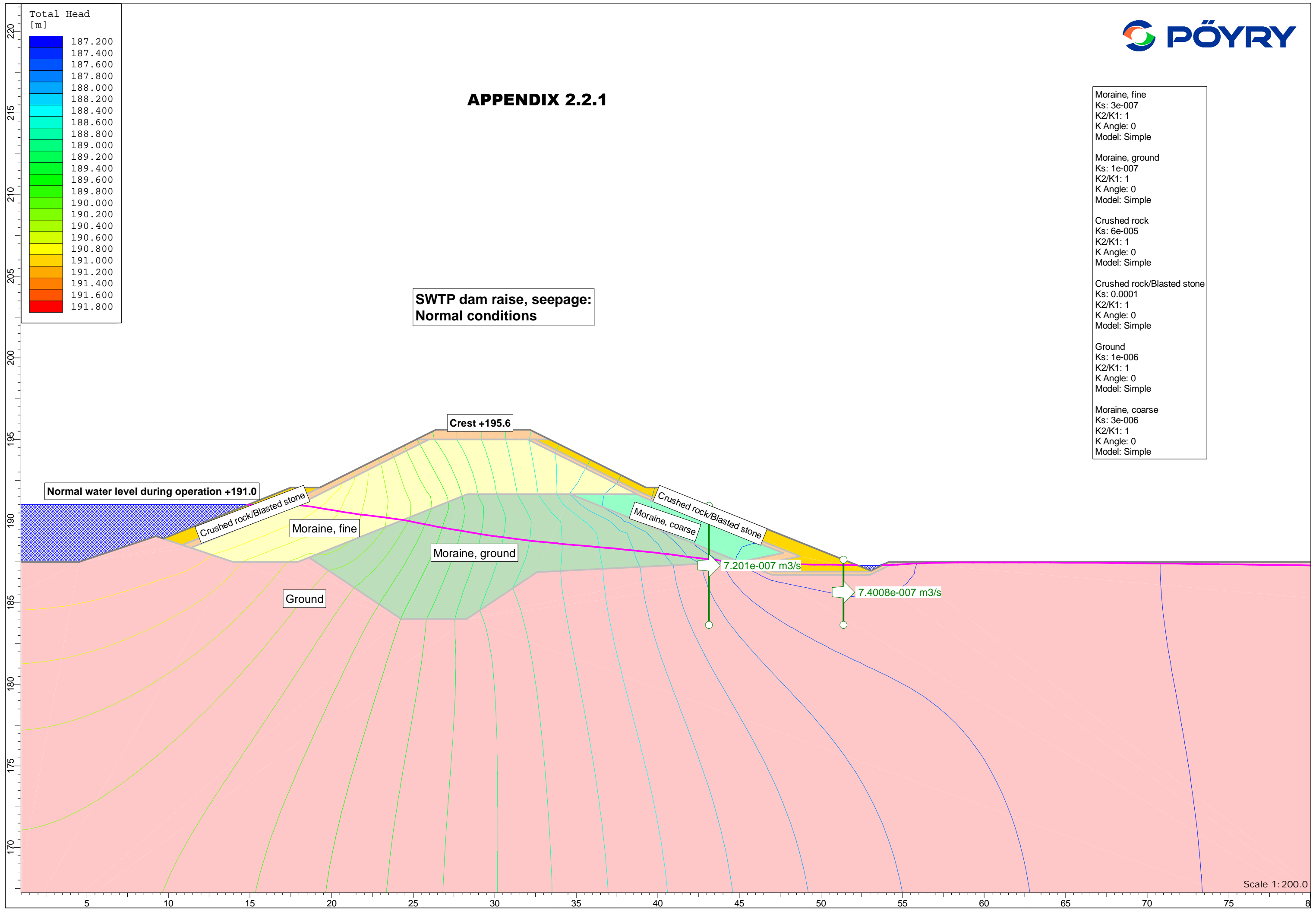
Laskentapoikkileikkaus on kohdalta, missä padon korkeus on suurin, noin 12,3 metriä.

Normaalissa suotovirtaustilanteessa (tapaus 1) pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,58. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.10.1.

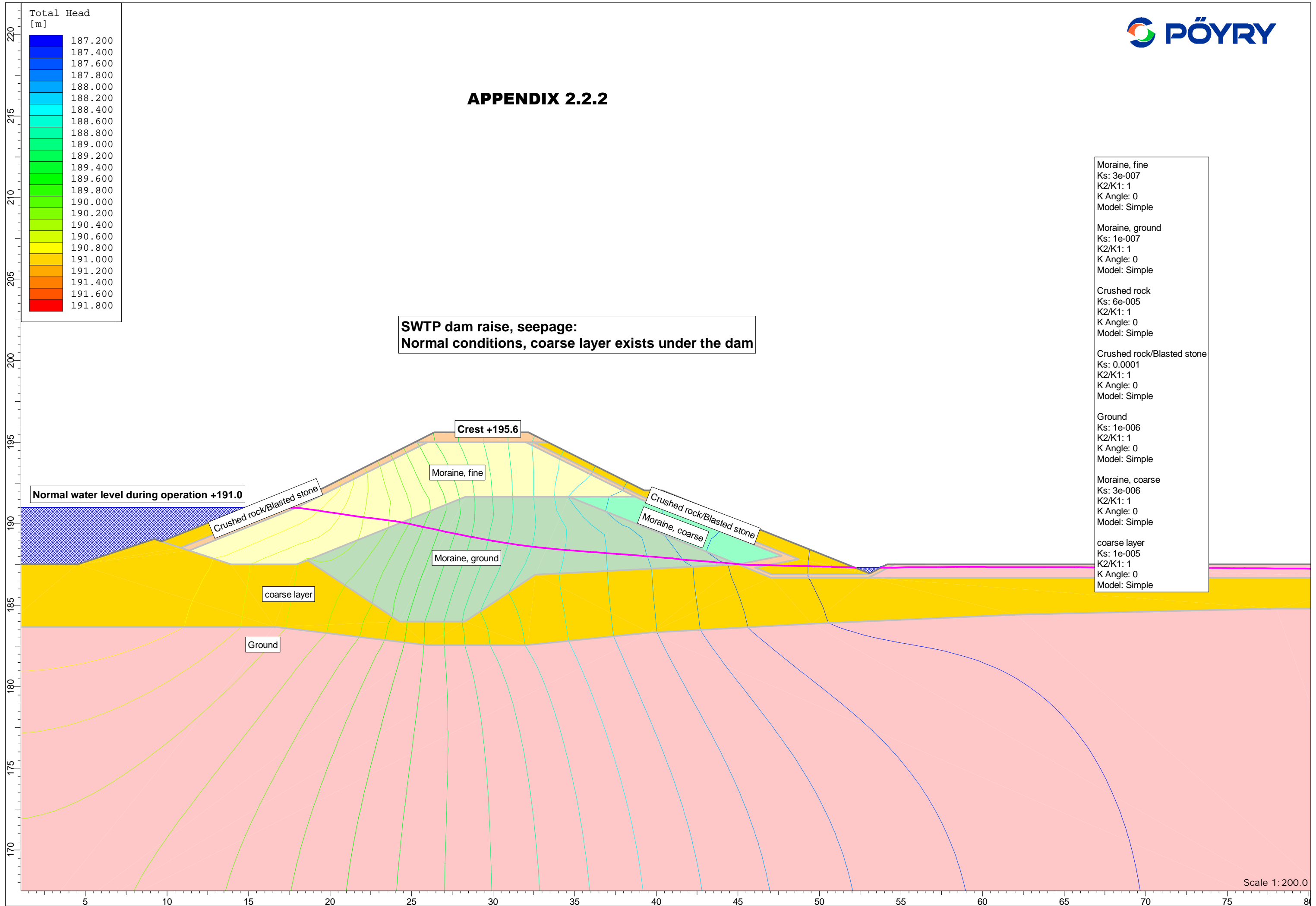
Tapauksessa 2 on oletettu, että eteläinen selkeytsaltaan pato sortuu ja vesipinta selkeytsaltaassa laskee nopeasti HW-tasolta +190,0 altaan pohjan tasolle (HW-6,2m). Tässä tapauksessa pienin kokonaisvarmuuskerroin on 1,52. Laskentatulokset on esitetty liitteessä 2.10.2.

APPENDIX 2.2.1

**SWTP dam raise, seepage:
Normal conditions**

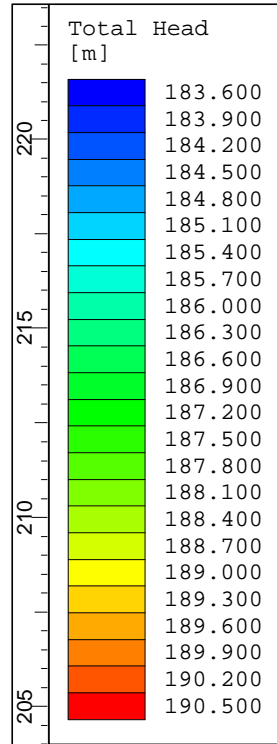


APPENDIX 2.2.2

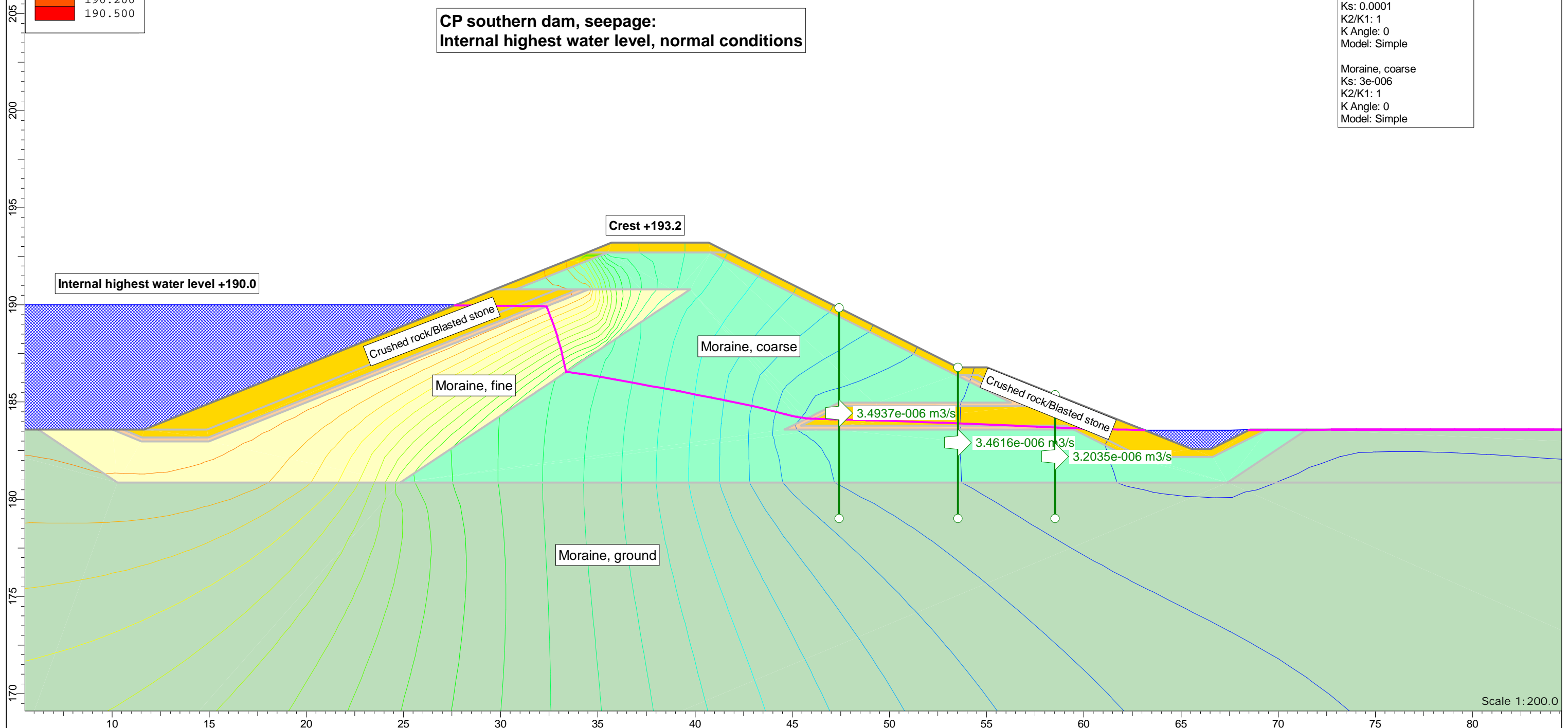


APPENDIX 2.3.1

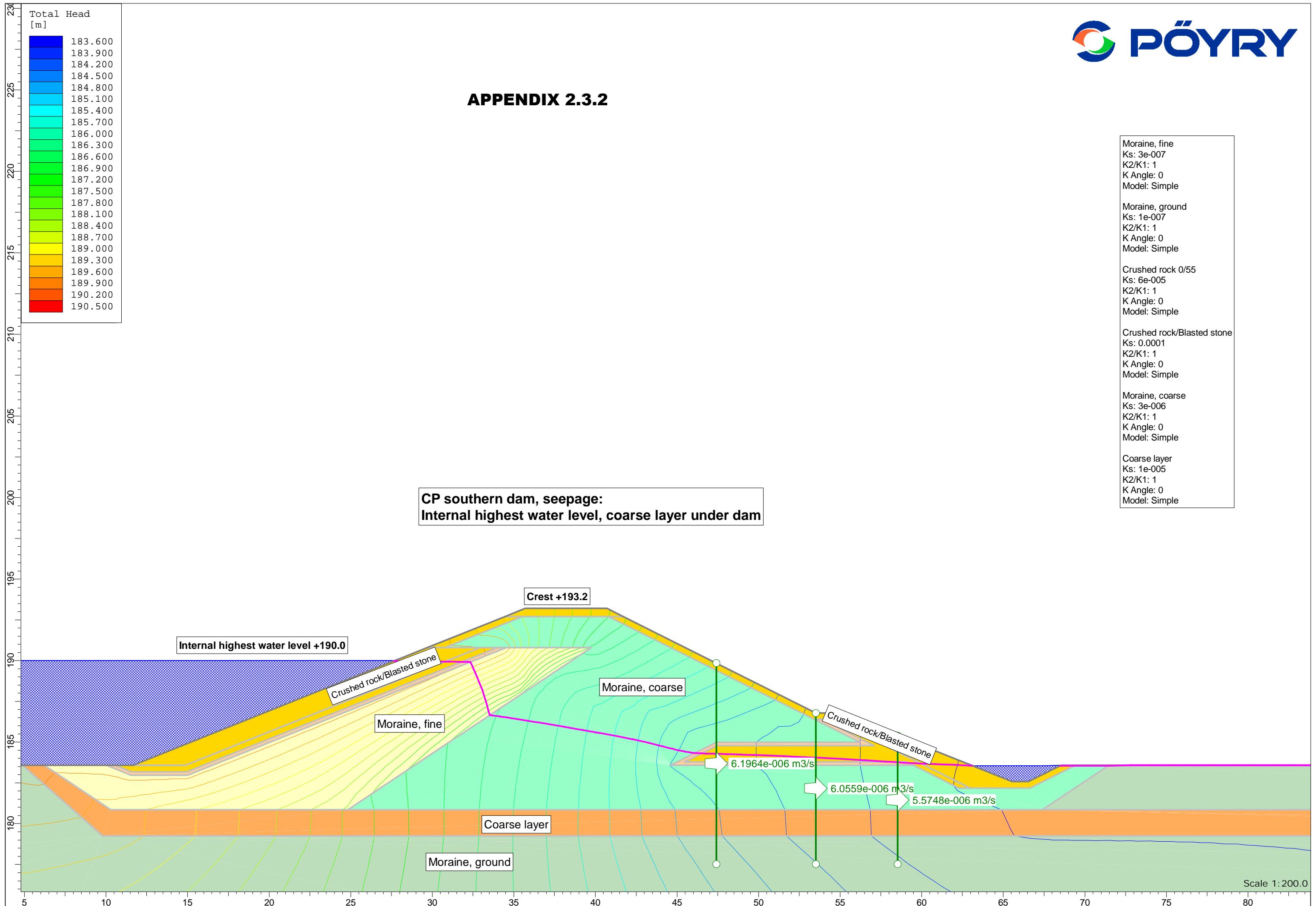
**CP southern dam, seepage:
Internal highest water level, normal conditions**



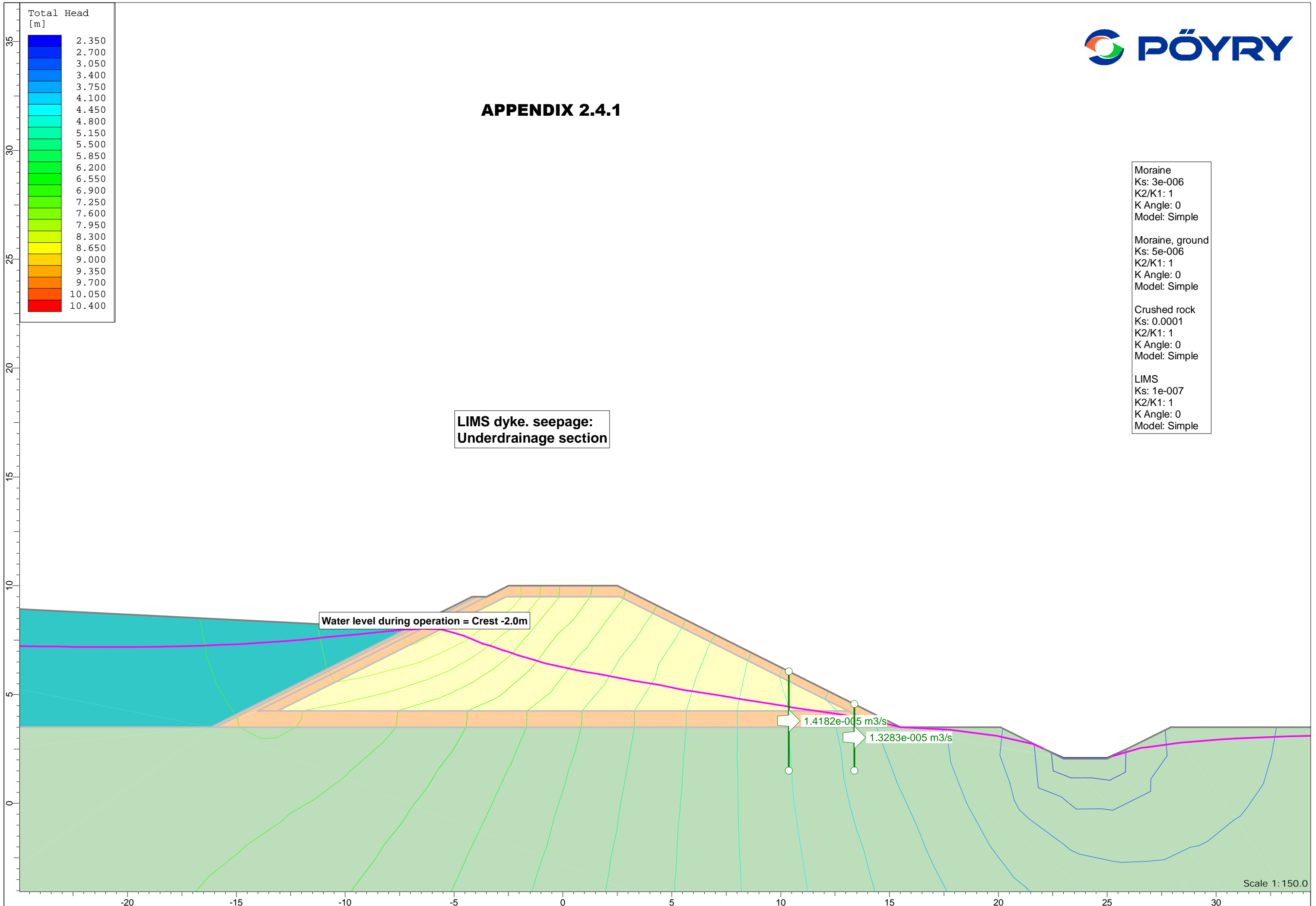
Moraine, fine	Ks: 3e-007
	K2/K1: 1
	K Angle: 0
	Model: Simple
Moraine, ground	Ks: 1e-007
	K2/K1: 1
	K Angle: 0
	Model: Simple
Crushed rock 0/55	Ks: 6e-005
	K2/K1: 1
	K Angle: 0
	Model: Simple
Crushed rock/Blasted stone	Ks: 0.0001
	K2/K1: 1
	K Angle: 0
	Model: Simple
Moraine, coarse	Ks: 3e-006
	K2/K1: 1
	K Angle: 0
	Model: Simple



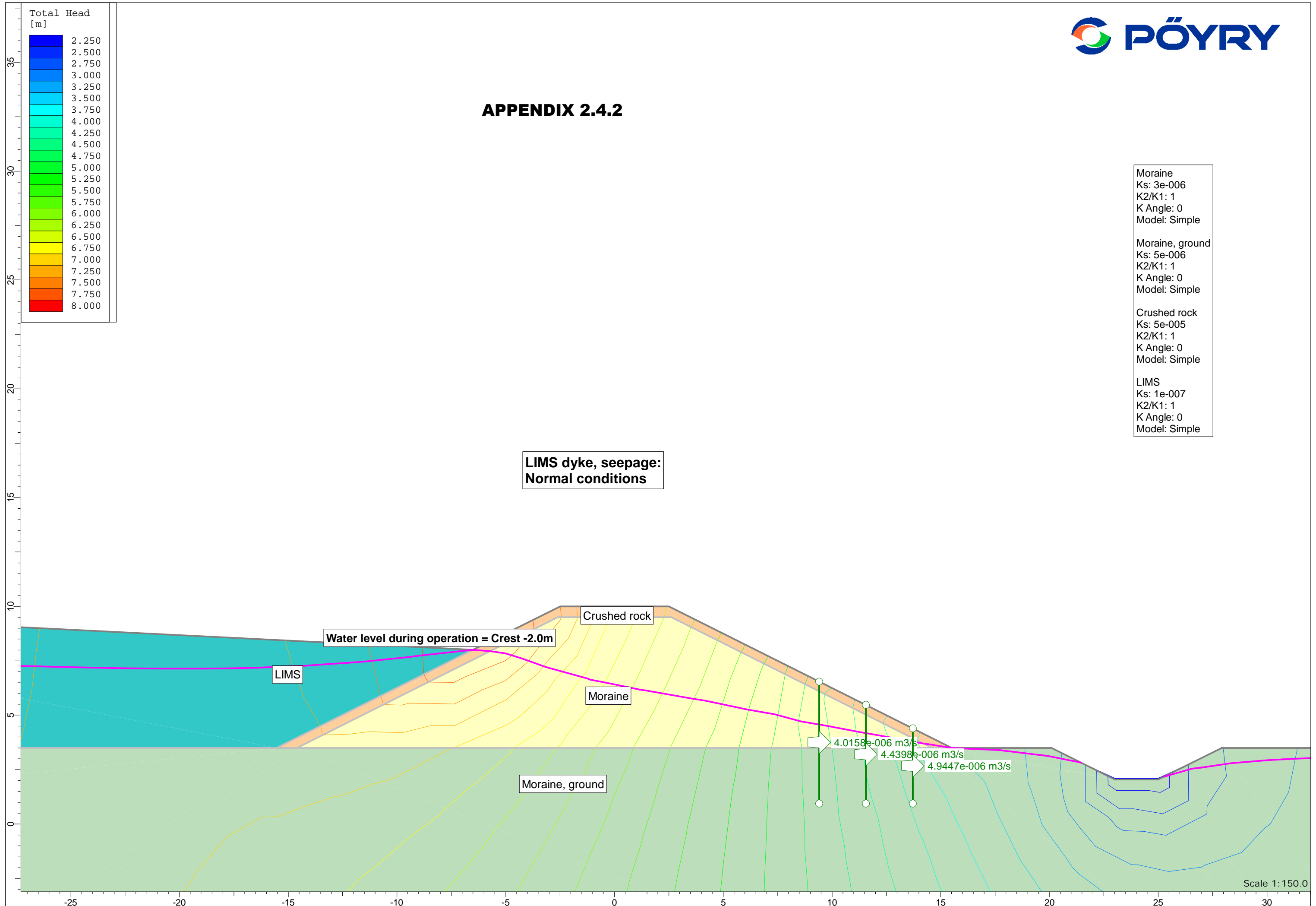
APPENDIX 2.3.2



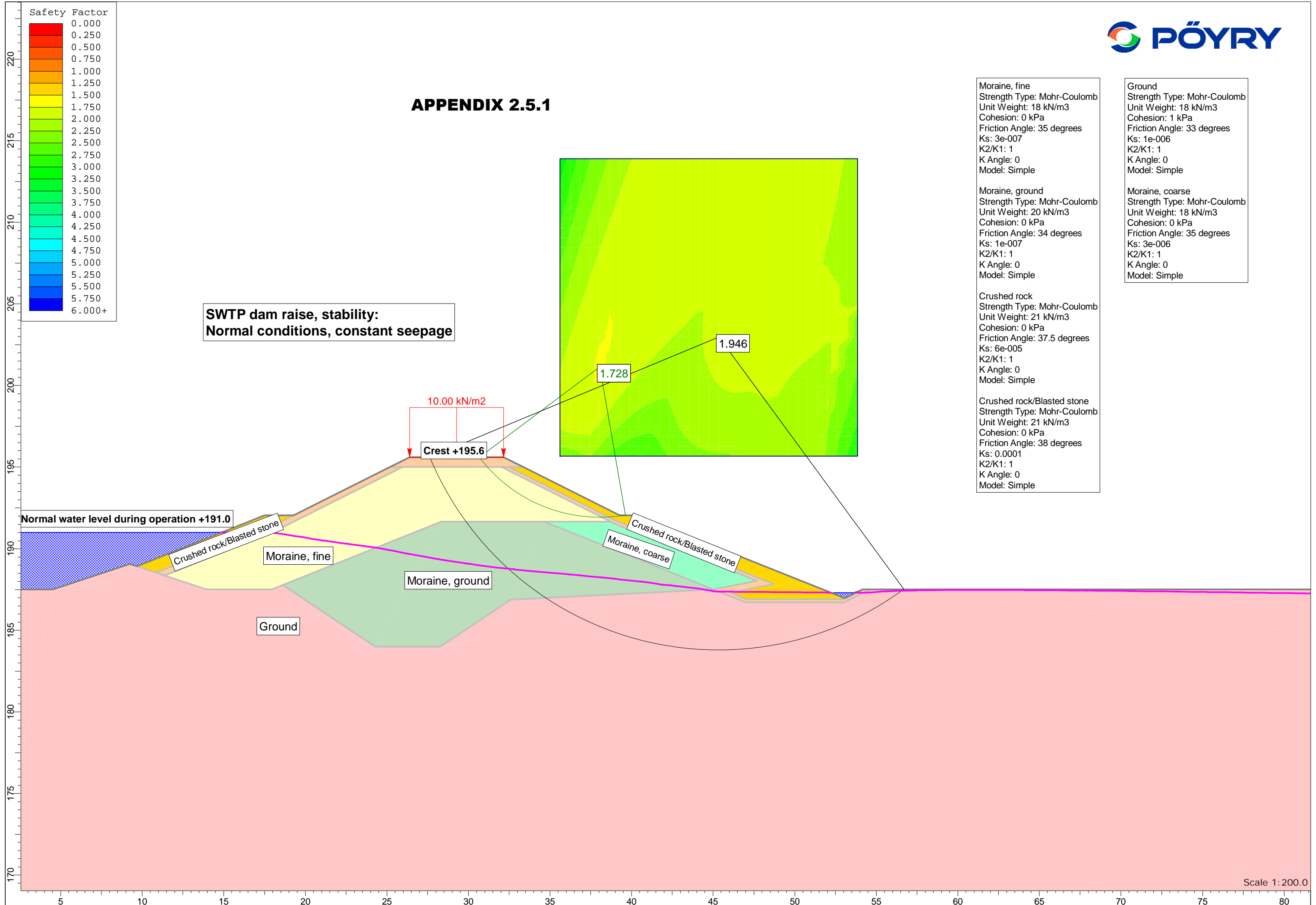
APPENDIX 2.4.1



APPENDIX 2.4.2



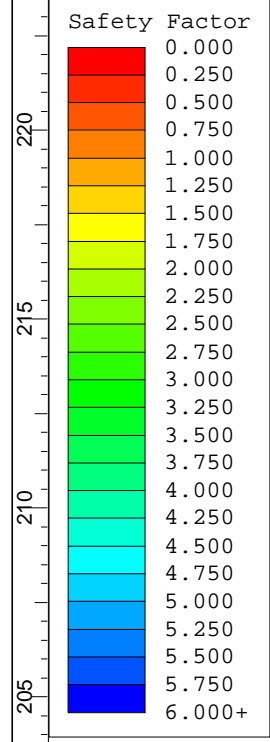
APPENDIX 2.5.1



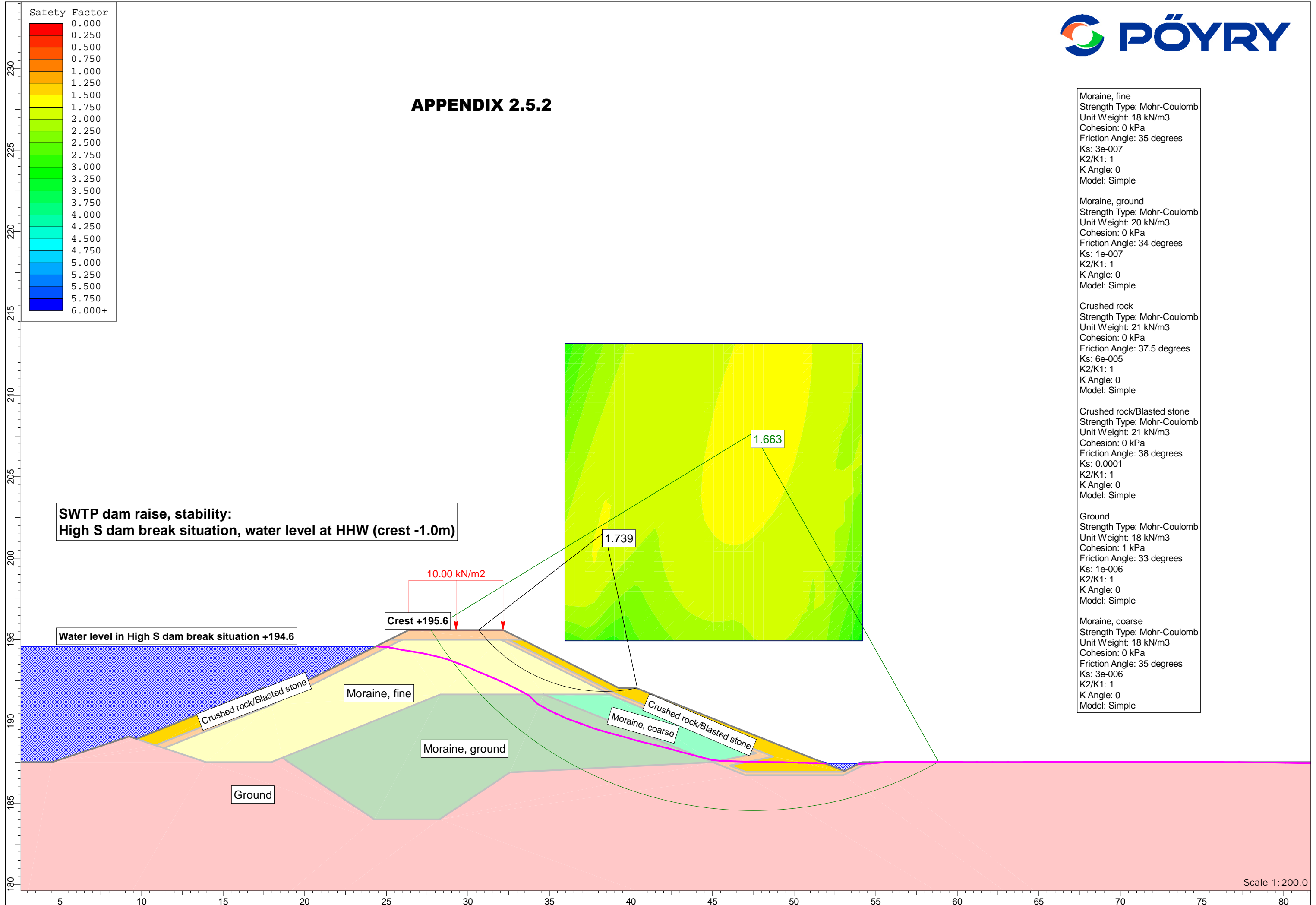
**SWTP dam raise, stability:
Normal conditions, constant seepage**

<p>Moraine, fine Strength Type: Mohr-Coulomb Unit Weight: 18 kN/m3 Cohesion: 0 kPa Friction Angle: 35 degrees Ks: 3e-007 K2/K1: 1 K Angle: 0 Model: Simple</p>	<p>Moraine, ground Strength Type: Mohr-Coulomb Unit Weight: 20 kN/m3 Cohesion: 0 kPa Friction Angle: 34 degrees Ks: 1e-007 K2/K1: 1 K Angle: 0 Model: Simple</p>
<p>Crushed rock Strength Type: Mohr-Coulomb Unit Weight: 21 kN/m3 Cohesion: 0 kPa Friction Angle: 37.5 degrees Ks: 6e-005 K2/K1: 1 K Angle: 0 Model: Simple</p>	<p>Crushed rock/Blasted stone Strength Type: Mohr-Coulomb Unit Weight: 21 kN/m3 Cohesion: 0 kPa Friction Angle: 38 degrees Ks: 0.0001 K2/K1: 1 K Angle: 0 Model: Simple</p>

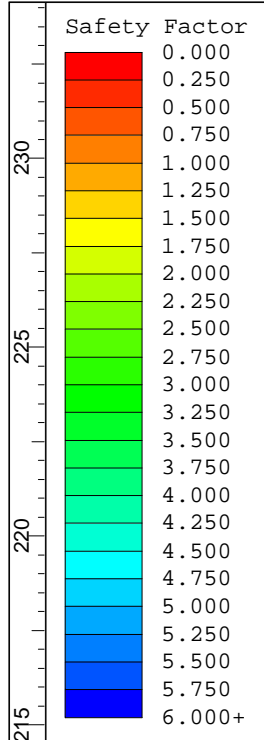
<p>Ground Strength Type: Mohr-Coulomb Unit Weight: 18 kN/m3 Cohesion: 1 kPa Friction Angle: 33 degrees Ks: 1e-006 K2/K1: 1 K Angle: 0 Model: Simple</p>	<p>Moraine, coarse Strength Type: Mohr-Coulomb Unit Weight: 18 kN/m3 Cohesion: 0 kPa Friction Angle: 35 degrees Ks: 3e-006 K2/K1: 1 K Angle: 0 Model: Simple</p>
---	--



APPENDIX 2.5.2

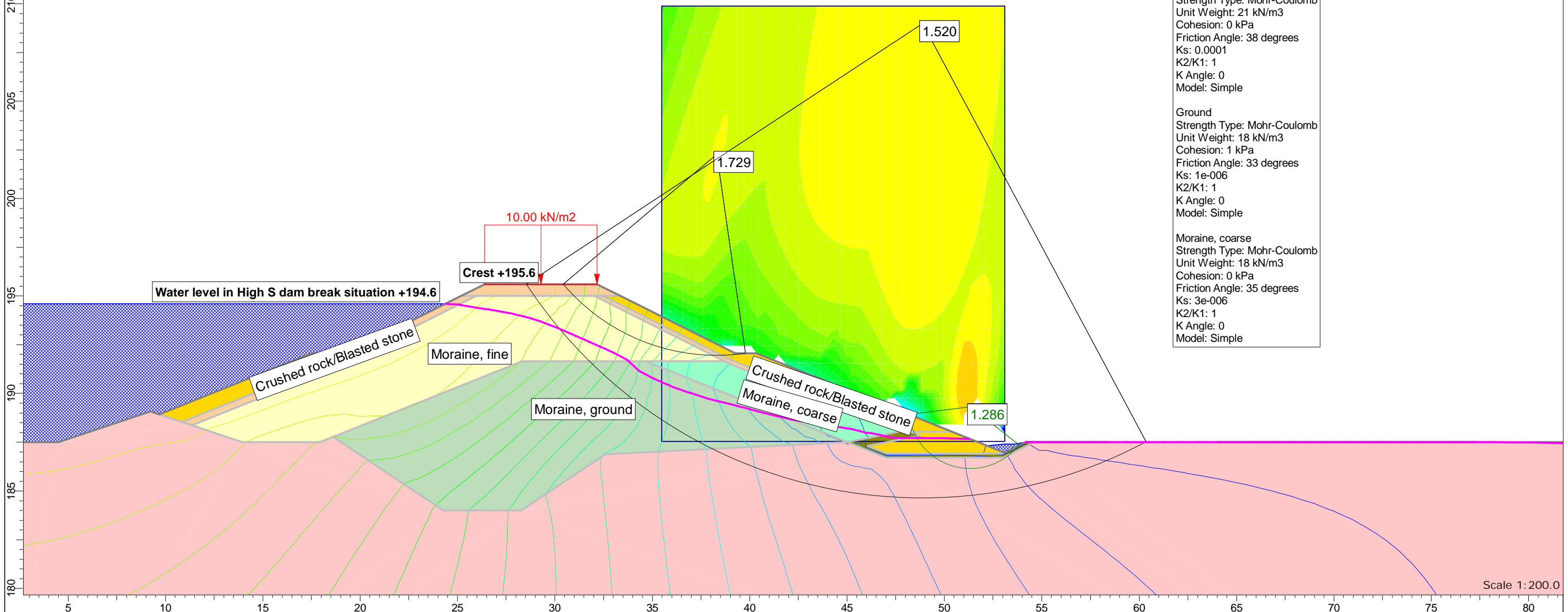


APPENDIX 2.5.3

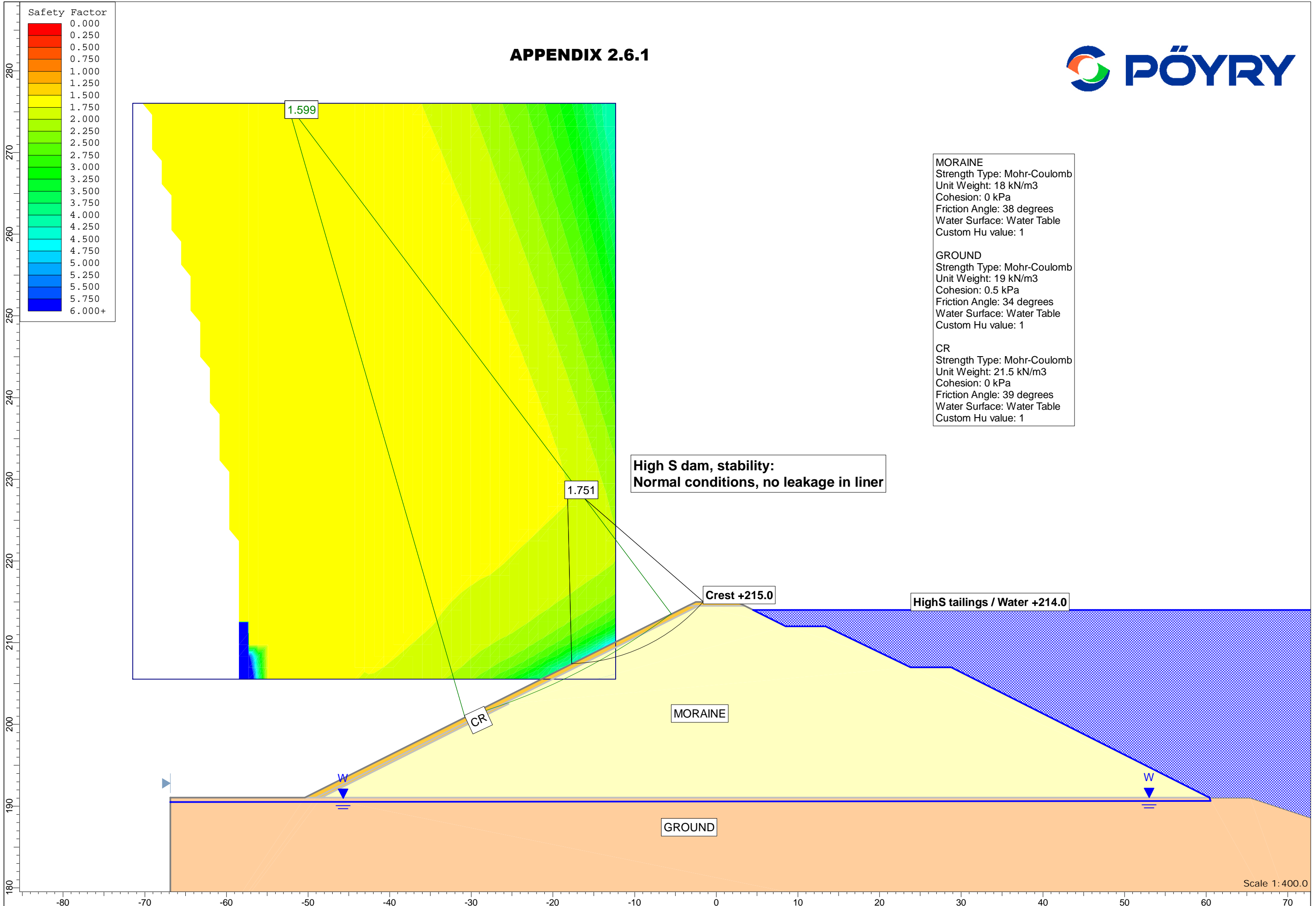


**SWTP dam raise, stability:
High S dam break situation, water level at HHW (crest -1.0m), horizontal filter clogged**

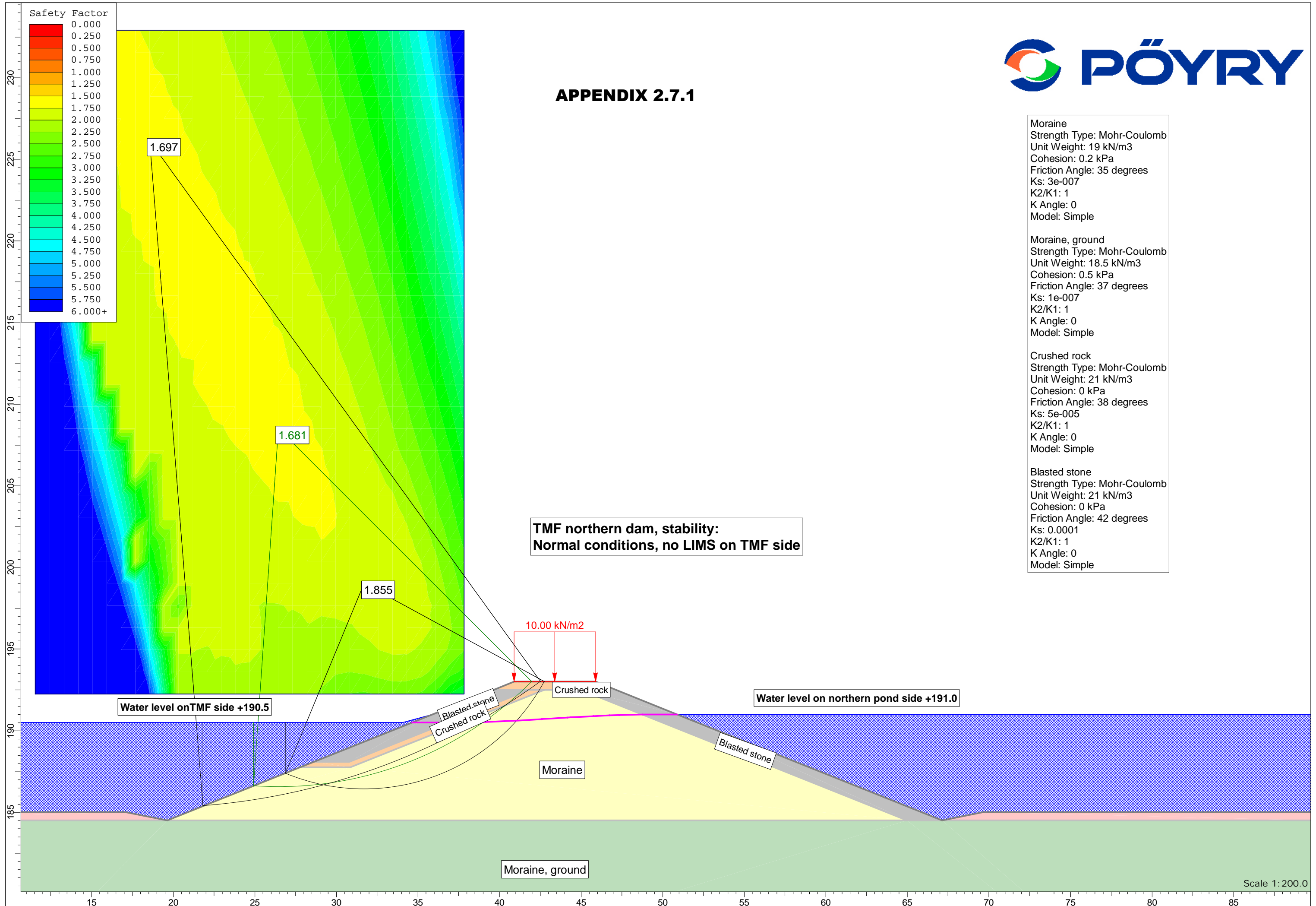
- Material: Moraine, fine
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 35 degrees
Ks: 3e-007
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
- Moraine, ground
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 34 degrees
Ks: 1e-007
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
- Crushed rock
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 37.5 degrees
Ks: 6e-005
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
- Crushed rock/Blasted stone
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Ks: 0.0001
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
- Ground
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m3
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 33 degrees
Ks: 1e-006
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
- Moraine, coarse
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 35 degrees
Ks: 3e-006
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple



APPENDIX 2.6.1



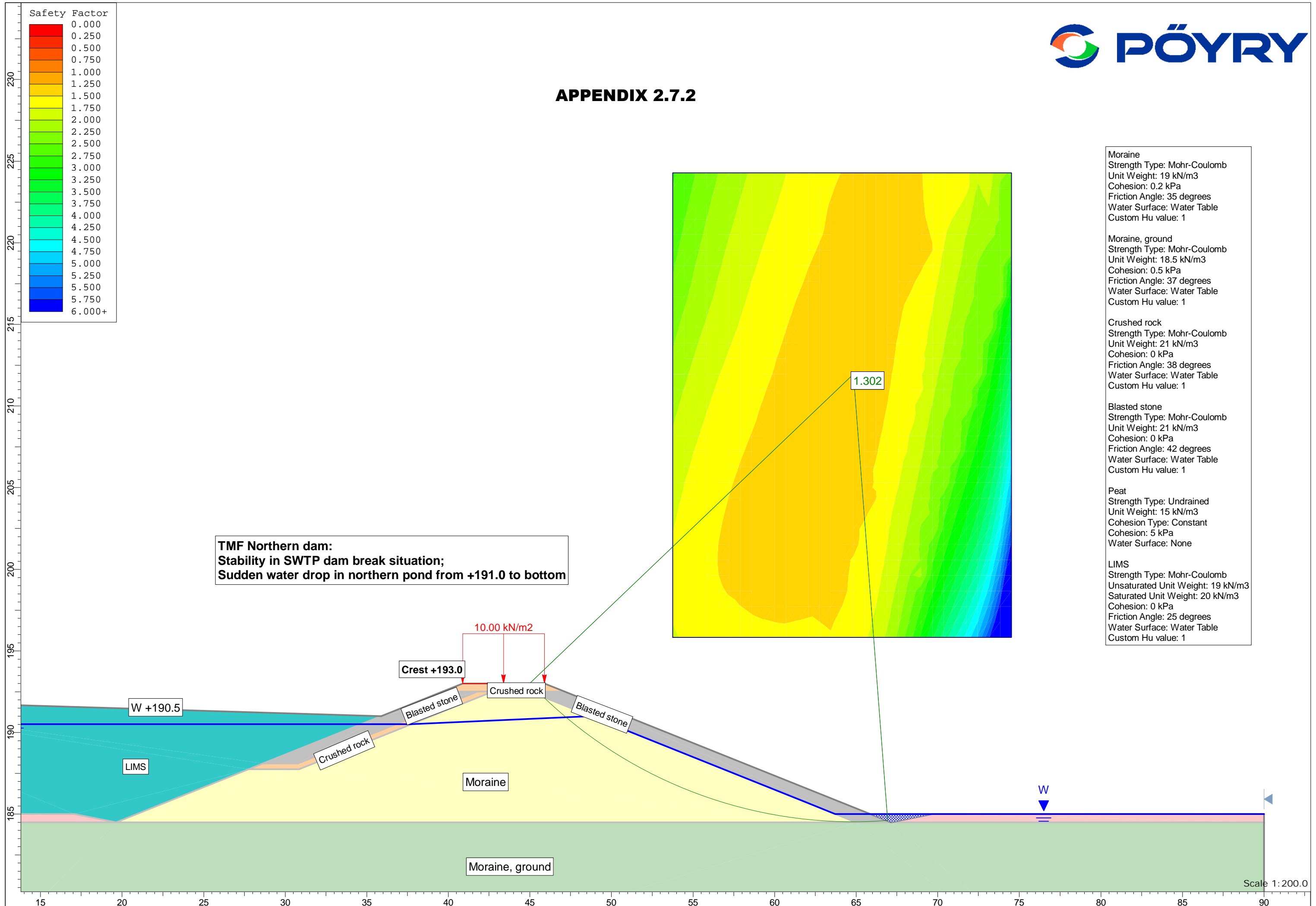
APPENDIX 2.7.1



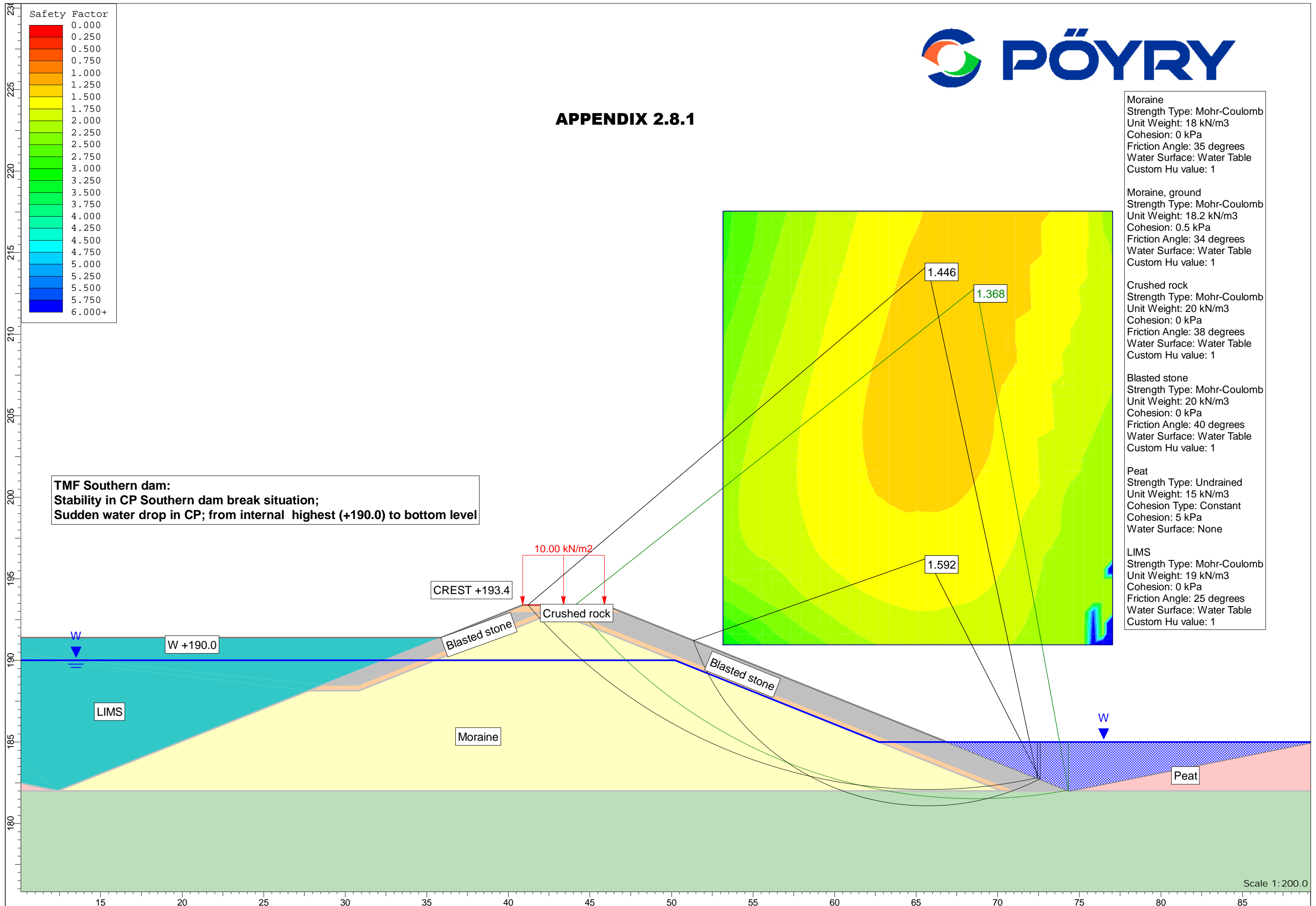
- Moraine
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 0.2 kPa
Friction Angle: 35 degrees
Ks: 3e-007
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
- Moraine, ground
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5 kN/m³
Cohesion: 0.5 kPa
Friction Angle: 37 degrees
Ks: 1e-007
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
- Crushed rock
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Ks: 5e-005
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
- Blasted stone
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 42 degrees
Ks: 0.0001
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple

**TMF northern dam, stability:
Normal conditions, no LIMS on TMF side**

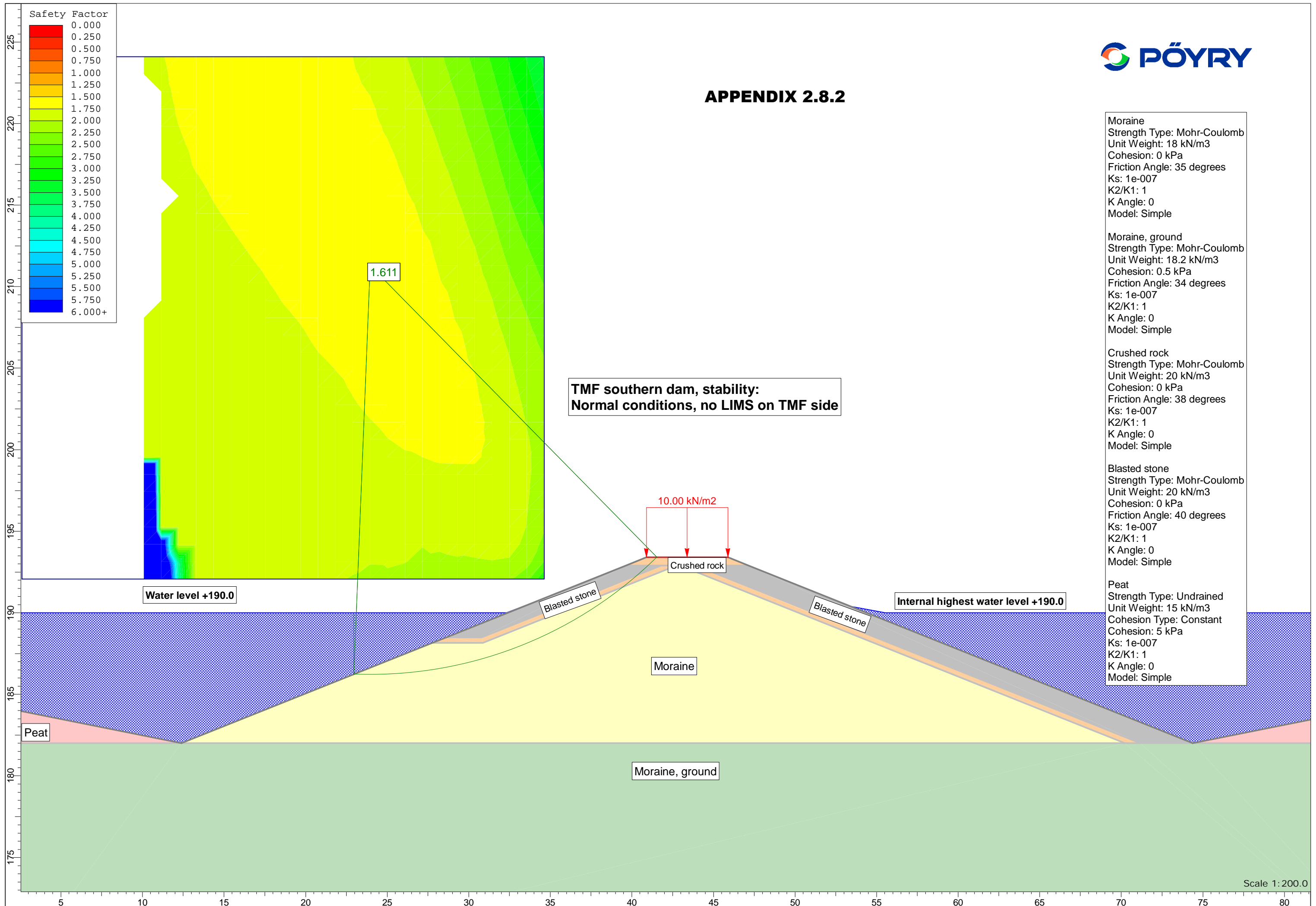
APPENDIX 2.7.2



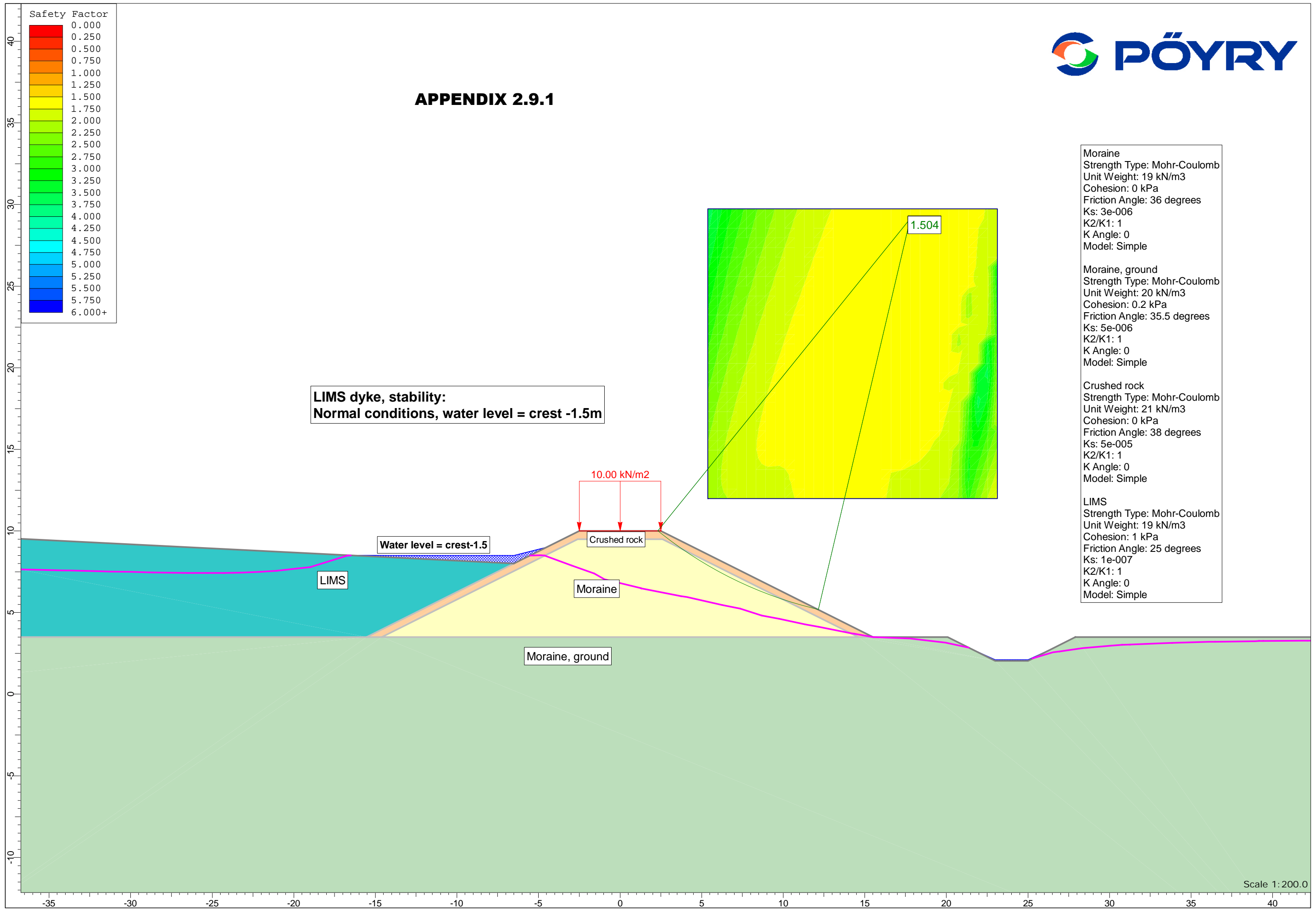
APPENDIX 2.8.1



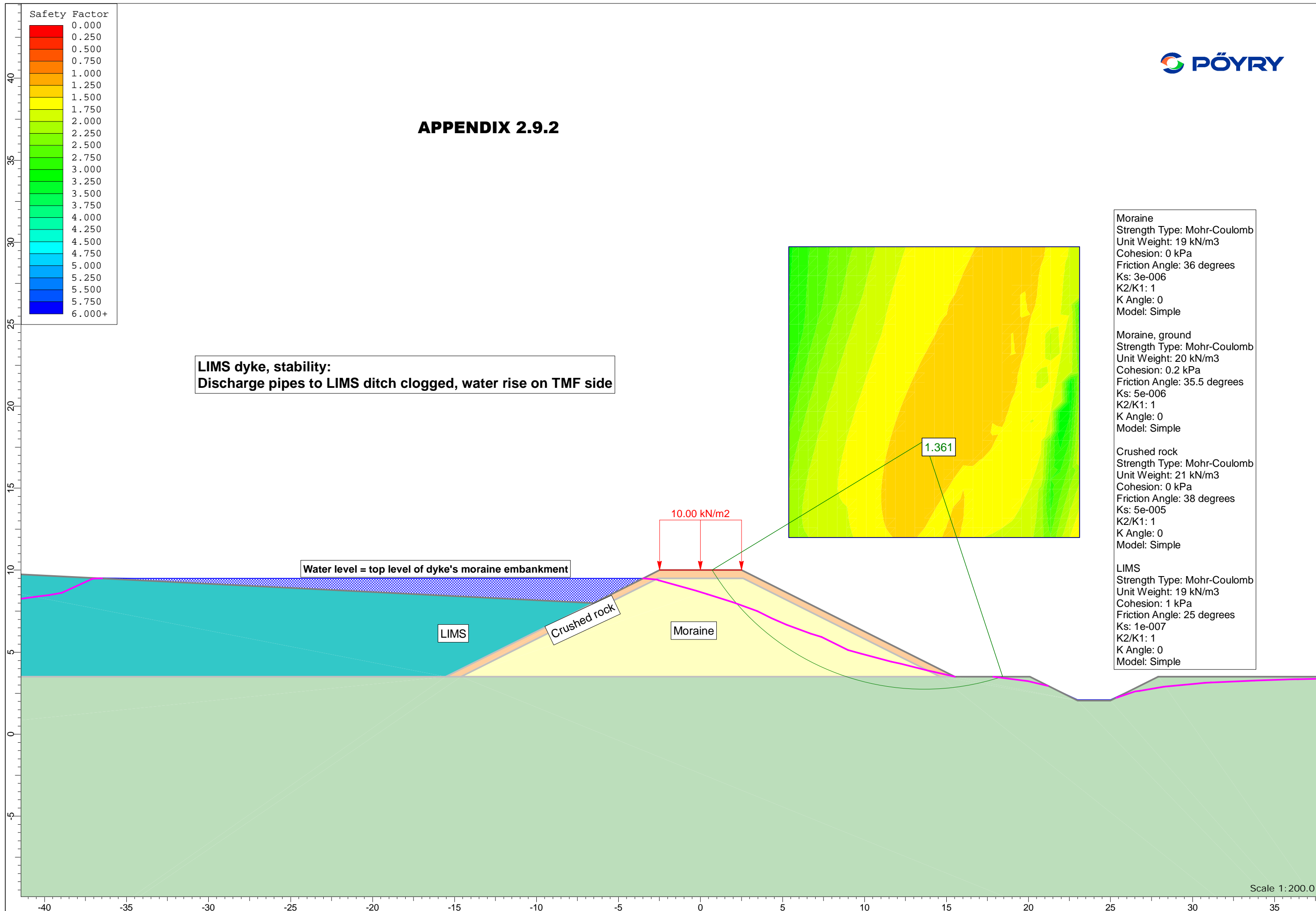
APPENDIX 2.8.2



APPENDIX 2.9.1



APPENDIX 2.9.2



LIMS dyke, stability:
Discharge pipes to LIMS ditch clogged, water rise on TMF side

Moraine
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m ³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 36 degrees
Ks: 3e-006
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
Moraine, ground
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m ³
Cohesion: 0.2 kPa
Friction Angle: 35.5 degrees
Ks: 5e-006
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
Crushed rock
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m ³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Ks: 5e-005
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple
LIMS
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m ³
Cohesion: 1 kPa
Friction Angle: 25 degrees
Ks: 1e-007
K2/K1: 1
K Angle: 0
Model: Simple

1.361

10.00 kN/m²

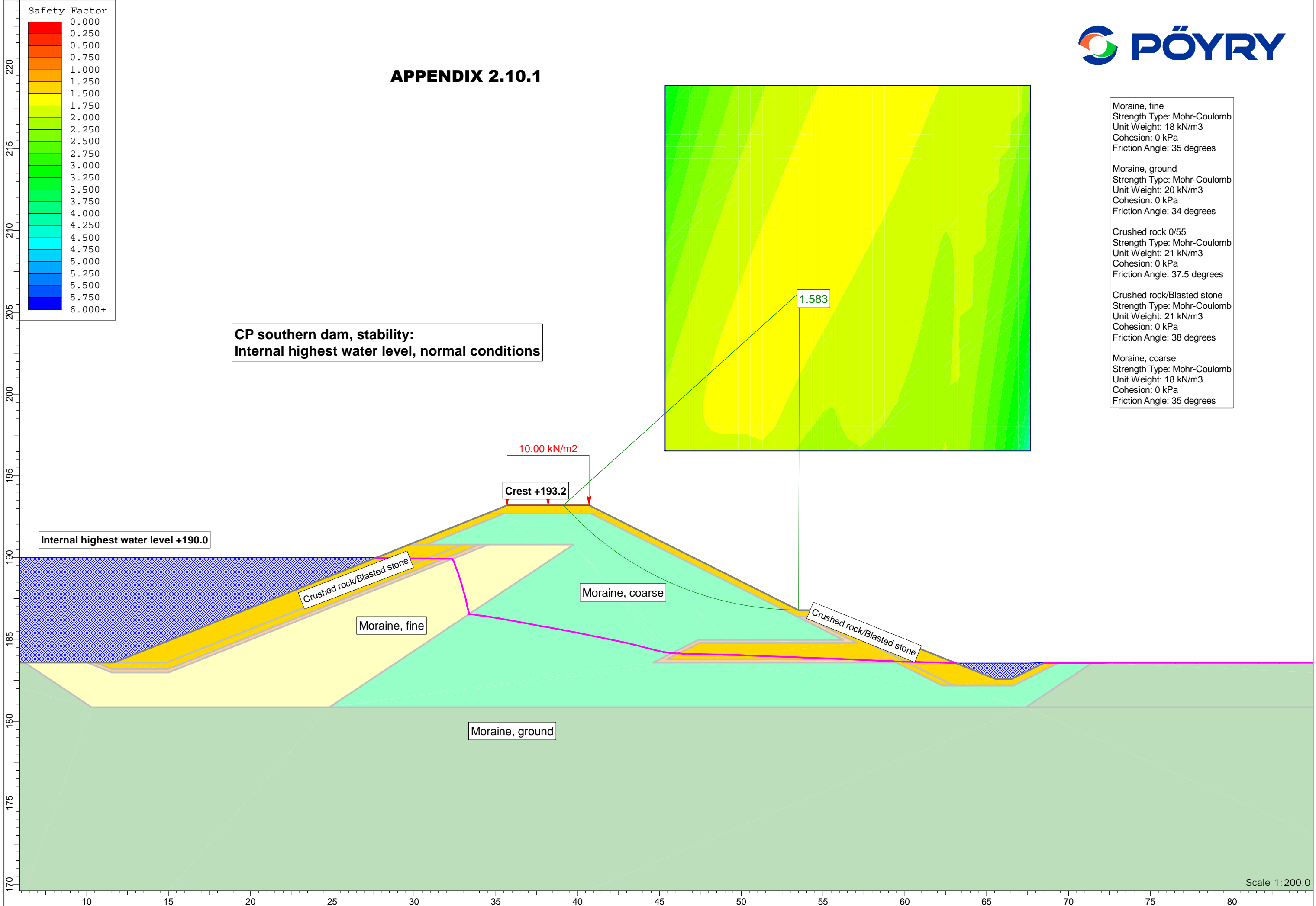
Water level = top level of dyke's moraine embankment

LIMS

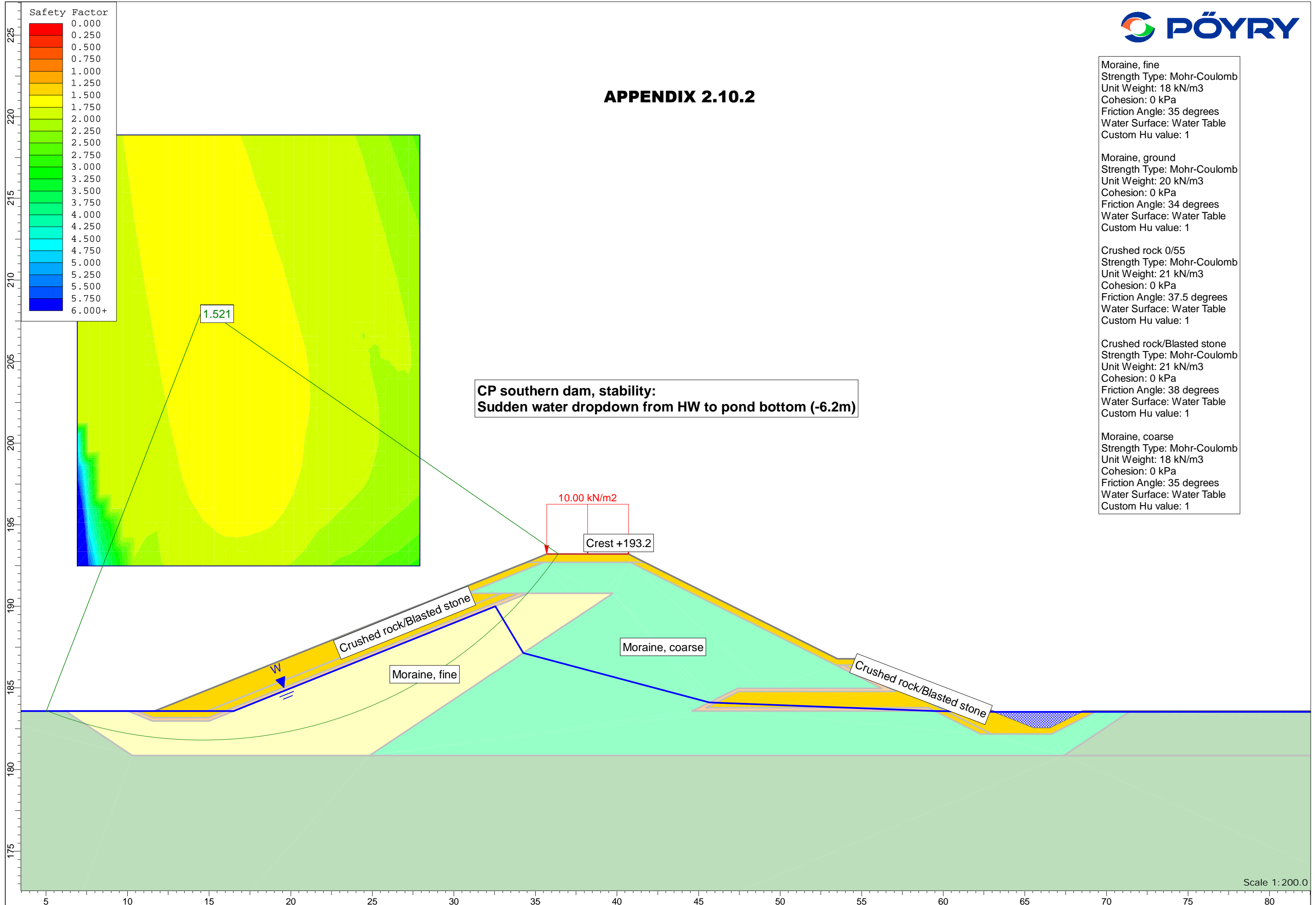
Crushed rock

Moraine

APPENDIX 2.10.1



APPENDIX 2.10.2



**CP southern dam, stability:
Sudden water dropdown from HW to pond bottom (-6.2m)**

- Moraine, fine
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 35 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1
- Moraine, ground
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 34 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1
- Crushed rock 0/55
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 37.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1
- Crushed rock/Blasted stone
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 38 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1
- Moraine, coarse
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 35 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1