



Euroopa Liit
Euroopa
Regionaalarengu Fond



Eesti
tuleviku heaks

OPTIMAALSE TEEKONSTRUKTSIOONI KOOSTAMISE METOODIKA VÄLJATÖÖTAMINE

II ETAPI ARUANNE

Töö on koostatud Maanteeameti teede arengu osakonna tellimusel

Tallinn
2017

Projektijuht:

Luule Kaal, ERC Konsultatsiooni OÜ

Töös osalesid:

Ain Kendra, T-Konsult OÜ

Peeter Talviste, IPT Projektijuhtimine OÜ

Tiit Kaal, ERC Konsultatsiooni OÜ

© Maanteeamet, 2017

Töö tellija on Maanteeamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Maanteeameti seisukohaga ega väljenda Maanteeameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö teostajal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

Teadus- ja arendustöö

**Optimaalse teekonstruktsiooni
koostamise metoodika väljatöötamine**

II etapp

2017



Optimaalse teekonstruktsiooni koostamise metoodika väljatöötamine II etapi aruanne

Tellija	Maanteeamet
Tellija esindaja ja kontaktandmed	Taavi Tõnts taavi.tonts@mnt.ee Pärnu mnt 463a 10916 Tallinn Tel: 6119331
Lepingu nr	Töövõtuleping nr 17-00120/010
Aruande kuupäev	1. september 2017 // 30. september 2017
Aruande nr	ERC/25/2017
Märksõnad	Tee konstruktsioon, geotehnika, muldkeha ehitus, katendiarvutus, tasuvusarvutus, elukaare kulude analüüs, innovaatiline lahendus
Keywords	Road structure, geotechnical engineering, construction of subgrade and base layers, pavement calculation, cost-benefit analysis, life-cycle cost analysis, LCCA, innovation
Töös osalesid	Luule Kaal (<i>projektijuht</i>) <i>Konsultant, ERC Konsultatsiooni OÜ</i> Ain Kendra <i>Konsultant, T-Konsult OÜ</i> Peeter Talviste <i>Juhataja, IPT Projektijuhtimine OÜ</i> Tiit Kaal <i>Konsultant, ERC Konsultatsiooni OÜ</i>

ERC Konsultatsiooni OÜ
Väike-Ameerika 15-9
10129 Tallinn, Eesti
e-post: info@ercc.ee
tel: +372526984
www.ercc.ee

EESÕNA

Käesoleva teadus- ja arendustöö peamine eesmärk on väljatöötada optimaalne kohalikel ehitusmaterjalidel baseeruv tee konstruktsiooni koostamise metoodika.

Metoodika väljatöötamine koosneb kolmest etapist:

- I etapp – teekonstruktsiooni koostamise metoodika kontseptsioon ning katendiarvutus ja tasuvusarvutus tõendamaks metoodika eeliseid võrreldes projekteerimisnormidele tugineva lahendusega. I etapi tööd tehti 2016. aastal.
- II etapp – tellija poolt on esitatud geotehnilised uuringud. Katendi konstruktsiooni lahenduse ning metoodika täpsustamine. Konstruktsioonide LEM katsemudel koostamine ning lahendite toimivuse kontrollimine (Tallinna Tehnikakõrgkooli ekspertrühma poolt). II etapi tööd teostatakse 2017. aastal.
- III etapp – uue katendiarvutuse programmi prototüübi loomine (sõltuvalt II etapi tulemustest). III etapi tööde tegemise tähtaega ei ole täpsustatud.

Käesolev töö on metoodika koostamise II etapi aruanne. Töö tellija on Maanteeameti teede arenguosakond ning töö tehnilised tingimused on täies mahus toodud **Lisas 1**.

SISUKORD

Eessõna	1
Sisukord	2
1. Sissejuhatus	4
2. Karjääride ja materjalide ülevaade.....	6
3. Teekonstruktsiooni lahendused vastavalt lähteülesandele	9
3.1. INNO-1 lahend	9
3.2. INNO-2 eritingimused	10
4. Materjalide omadused ja mõõtmised	13
4.1. Materjalide ja pinnaste arvutuslik kandevõime ning mõõtmised	13
4.2. Materjalide elastsusmoodulid	13
4.3. Mõõteseadmed – katendi kihtide kandevõime mõõtmine	14
4.3.1. Niiskusrežiim ja selle mõju mõõtmistulemustele	15
4.4. Pinnaste arvutusparameetrid	15
5. Mulde materjalid ja katendi konstrueerimine	16
5.1. Aluspinnase stabiliseerimisest üldiselt	16
5.2. Mulde ehitamine ja kohalike materjalide kasutamine	16
5.3. Etapiviisiline ehitamine konstruktsiooni laiendamisega 2+2 ristlõikesse	18
5.4. Katendi konstruktsioon	18
5.5. Geotehnilised tingimused	21
6. Katendi arvutuste süsteemid	23
7. Konstruktsiooni arvutused	26
7.1. Konstruktsiooni arvutused programmiga KAP 2.0	26
7.2. Konstruktsiooni arvutus Soome juhendi järgi	26
7.3. Konstruktsiooni arvutused PMS Objekt programmiga	26
7.3.1. Katendi konstruktsioon kõrge mulde korral	28
7.3.2. Konstruktsiooni arvutused madala mulde korral	33
7.3.3. Konstruktsiooni arvutused betoonkatendi korral	36
7.4. Kohalike materjalide kasutusest	38
8. Ettepanekud mulde juhise suhtes	39
9. Geotehnika	40
9.1. Arvutusmodeli koostamine ja selle parameetrite põhjendamine	40

9.1.1.	Geoloogilised lähteandmed.....	40
9.1.2.	Geotehniline mudel arvutusteks	41
9.2.	Arvutusmetoodika	45
9.2.1.	Stabiilsusarvutuste metoodika	45
9.2.2.	Vajumisarvutuse metoodika.....	45
9.3.	Arvutuste tulemused	46
9.3.1.	Vajumise prognoosi tulemused	46
9.3.2.	Stabiilsuse kontrollarvutuste tulemused.....	47
10.	Teekonstruktsiooni laiendamise võimalused	49
10.1.	Asfaltbetoonkatte laiendamise tehnoloogia	49
10.2.	Betoonkatte laiendamise tehnoloogia	49
11.	Objekti elukaare kulude analüüs	51
11.1.	Üldist.....	51
11.2.	Teede ehitus- ja hooldustööde rakendamine ja kulud.....	52
11.3.	LCC-analüüsi tulemused	53
12.	Kokkuvõte.....	63
13.	Kasutatud kirjandus.....	65

Lisa 1. Töö tehniline kirjeldus

Lisa 2. Vajumise arvutuste tulemused

Lisa 3. Stabiilsuse arvutuste tulemused

Lisa 4. KAP arvutuslehed

1. SISSEJUHATUS

Käesoleva programmi raames on ette nähtud optimaalse konstruktsiooni projekteerimise meetodika kavandi koostamine ja seejärel Are ümbersõidu katselõigu katendi konstrueerimine ning vajumise ja stabiilsuse kontrollarvutused. Tellija poolt on taustinformatsiooniks antud Pärnu maakonnaplaneeringut täpsustava teemaplaneeringu „Põhimaantee nr 4 (E67) Tallinn-Pärnu-Ikla (Via Baltica) trassi asukoha täpsustamine km 92,0-170,0“ materjalid¹ ning Are möödasõidu ehitusgeoloogilise uurimistöö aruanne.²

Vastavalt töö tehnilisele kirjeldusele tuleb II etpis keskenduda konstruktsiooni kõrguslikule optimeerimisele, nõrkade aluspinnaste korral 2+1 ristlõike jätkusuutlikumaks tegemisele ning kohalike materjalide optimaalsele kasutamisele.

Tehnilises- ja majanduslikus võrdluses tuleb väljapakutud konstruktsiooni maksumusi võrrelda betoonkatendiga ning elukaarekulud arvutatakse 30 aastale.

Järgnevalt on lühikokkuvõttena toodud mõned lähteandmed, mis osalt on täpsemalt kirjeldatud uuringu I etapi aruades³ või siis lisandunud II etapi tehnilise kirjeldusega seondult.

Tee trassi pikkus

Algus, km	Lõpp, km	Pikkus, km	
		Olemasolev	Ümbersõit
109,0	116,0	7,0	6,4

Liiklussagedus

2015.a. andmete põhjal oli Are ümbersõiduga seotud teelõikude liiklussagedus vahemikus 7700-8200 a/ööp. 2016.aastal kasvas liiklussagedus võrreldes eelmise aastaga 5% ning autorongide liiklussagedus 9%. 2017.a. esimese poolaasta tulemused näitavad sarnast kasvu – AKÖL kasv 5,6% ning AR kasv 8,8%.

Käesoleval aastal kõigi mnt nr 4 töötanud püsiloenduspunktide andmete põhjal võib öelda, et mnt nr 4 on jätkuvalt üks suurima liikluskasvuga maanteed. Vastavalt eelmise etapi tarbeks koostatud ja selle etapi raames täpsustatud prognoosile võib 2040.aastaks eeldada liiklussagedust suurusjärgus 14000-15000 a/ööp ning seetõttu on Tellijal soovitatav kaaluda, kas on üldse mõistlik alustada 2+1 ristlõikega tee projekteerimist.

Liiklusohutust silmas pidades on küsitav ka, kas on õigustatud kitsama 2+2 ristlõike kavandamine nagu II etapi töö tehnilises kirjelduses oli toodud (vt allpool).

¹ Pärnu maakonnaplaneering. Teemaplaneering „Põhimaantee nr 4 (E67) Tallinn-Pärnu-Ikla (Via Baltica) trassi asukoha täpsustamine km 92,0-170,0“. Pärnu, 2012.

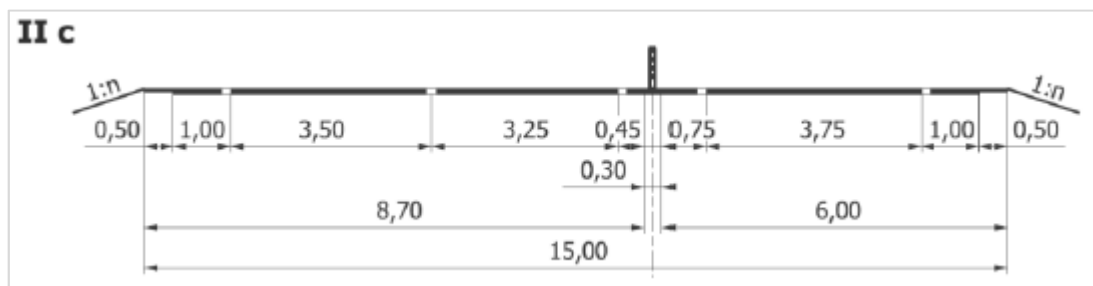
² Ehitusgeoloogilise uurimistöö aruanne. Are möödasõit riigitee nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla. REIB OÜ, 2017

³ Optimaalse teekonstruktsiooni koostamise meetodika väljatöötamine. I etapi aruanne. ERC/14/2016

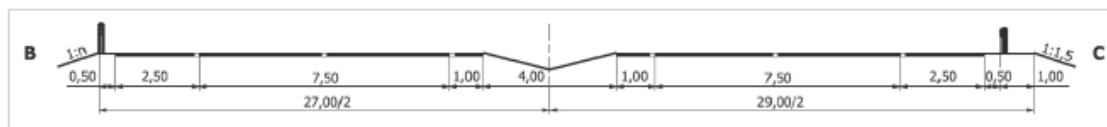
Tee ristlõige

Konstruksioonilahendused on koostatud 2+1 ja 2+2 ristlõikele, mille joonised on toodud järgnevalt. 2+2 ristlõike puhul tuleb vastavalt tehnilisele kirjeldusele kasutada kitsamat ristlõiget, mille mõõtmeid pole joonisele 1.2 kantud, vaid esitatud kirjeldusena alljärgnevalt:

- $0,5+2,0+3,5+3,5+\mathbf{2,8}+3,5+3,5+2,0+0,5$



Joonis 1.1. II klassi maantee ristprofiil (väljavõte projekteerimisnormidest, joonis 2.11)



Joonis 1.2. I klassi maantee ristprofiil (väljavõtte projekteerimisnormidest, joonis 2.10)

Seega võib perspektiivselt laiendatavat 2+1 profiili kirjeldada alljärgnevalt (tee telg on 2,8 m eraldusriba keskel ja keskkiire paikneb ka 2+2 ristlõikes tänase tee teljel):

- $0,5+2,0+3,5+3,5+1,4+0,15+0,75+3,75+1,0+0,5$

Asfaltkatte laius seega ühel pool $2,0+7,0+1,4=10,4$ ja teisel pool $0,15+0,75+3,75+1,0=5,65$ ning mõlemal pool tugipeenar 0,5 meetrit.

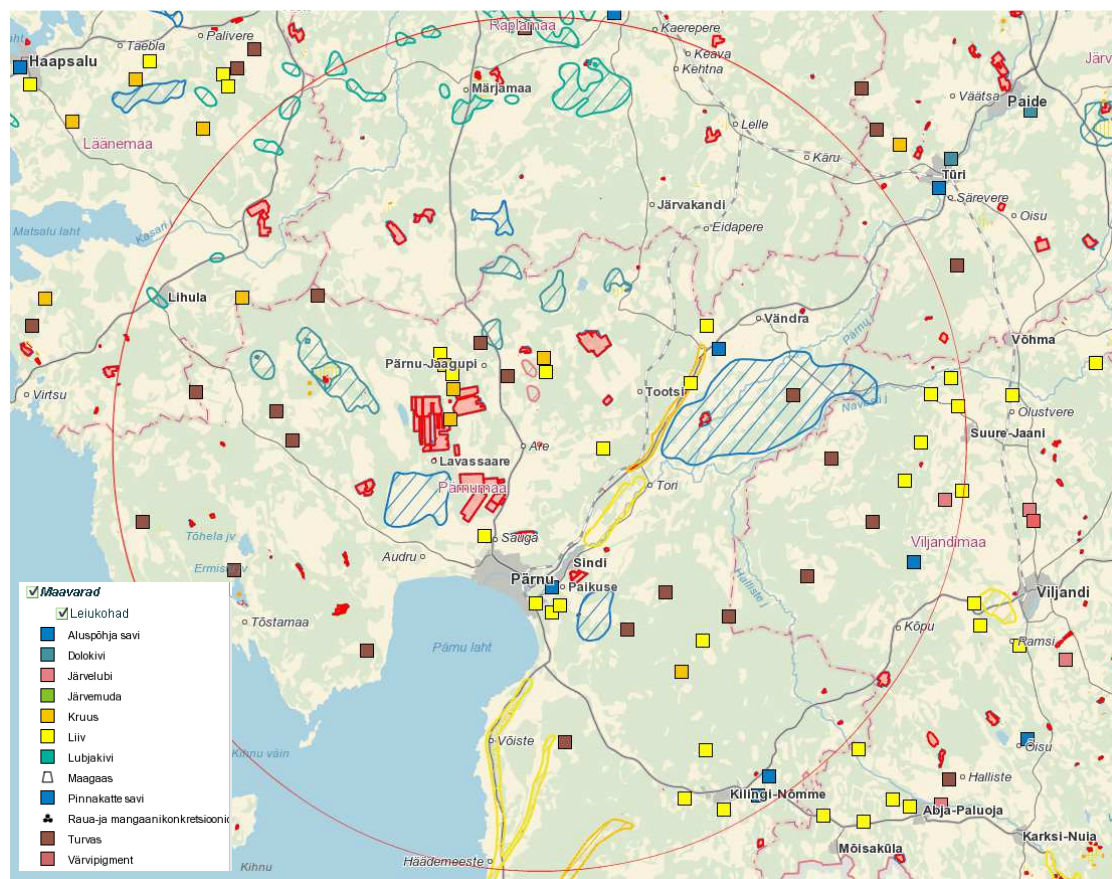
Tasuvus

Tasuvusanalüüs ja objekti elukaare kulude analüüs on koostatud HDM-4 tarkvaral põhinevate mudelite põhjal. Uuringu I etapi aruandes on antud põhjalik ülevaade meetodikast ja vajalikest sisendandmetest ning seetõttu neid käesoleva uuringu raames uuesti ei käsitleta. Käesolevas etapis on lisatud ka võrdlus tsementbetoonkatendiga teekonstruktsiooni kohta. Teemad, mille täpsem selgitus oli toodud töö I etapi aruandes, on:

- Tasuvusanalüüsi meetoodika;
- Lähteandmed – teedevõrk, teedevõrgu seisukord, teekasutaja kulud, ajakulu, teede ehitus- ja hooldustööde rakendamine ja kulud, liiklusõnnetused.

2. KARJÄÄRIDE JA MATERJALIDE ÜLEVAADE

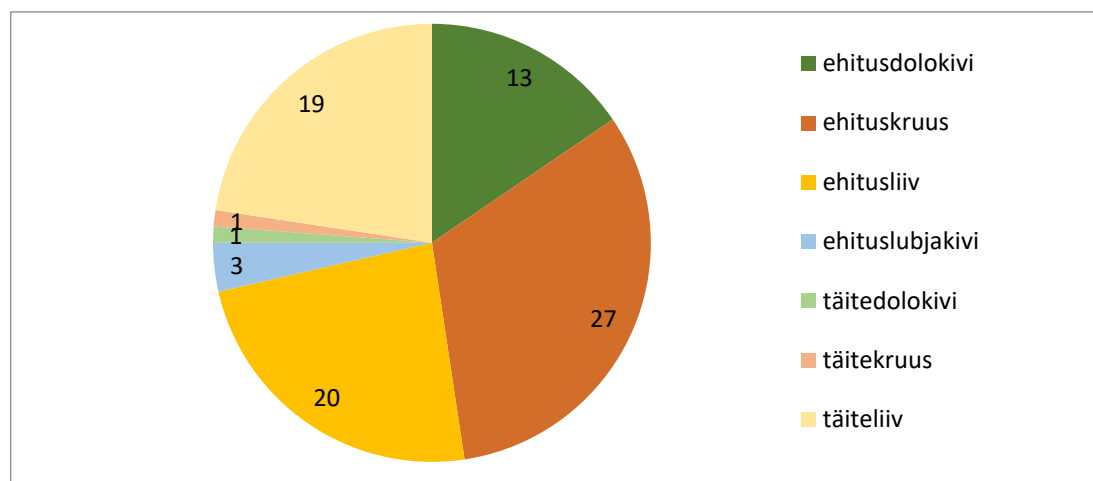
Kavandatavast objektist 50 km raadiuses paikneb 36 erinevat ehitusmaavarade karjääri ning kokku on neis 84 mäeraldist⁴ kogupindalaga 858,3 ha ning jääkvaruga 17,5 mln m³ (2017.a. alguse seisuga).



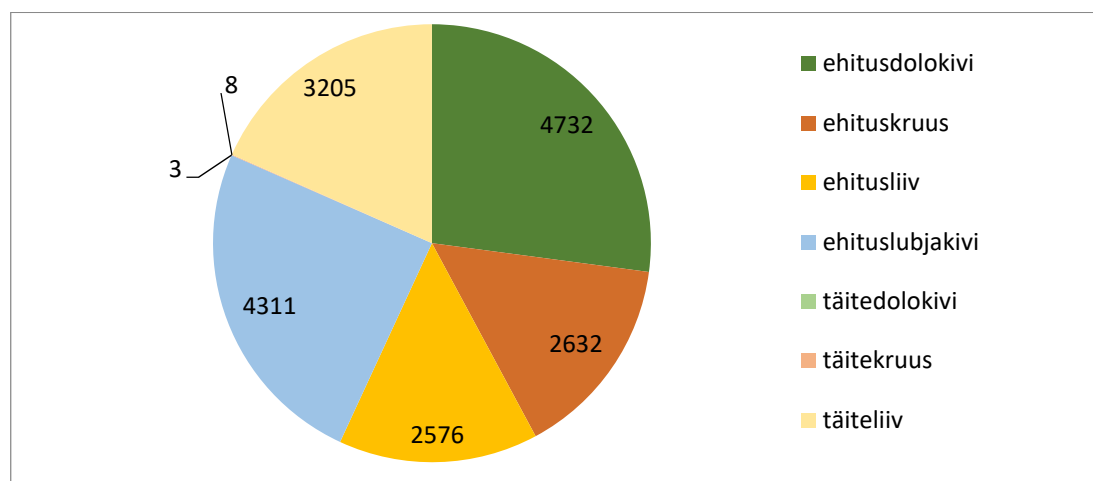
Joonis 2.1. Maavarade leiukohtade kaart

Arvuliselt on enim ehituskruusa mäeraldisi, kuid suurimad kaevandatavad jääkvarud on ehitusdolokivi ning ehituslubjakivi osas (joonis 2.2 ja 2.3).

⁴ Kaevandamisloaga kaevandamiseks määratud maapõue osa



Joonis 2.2. Objektist 50 km raadiuses olevate ehitusmaavarade määraldiste arv



Joonis 2.3. Objektist 50 km raadiuses olevate määraldiste kaevandatav jääkvaru, tuh m³ (2017.a.)

Karjääre, kus on võimalik toota killustikku, mille purunemiskindlus vastab lõigu koormusest tulenevatele nõuetele (LA30) on kaks tükki (7 määraldist) ning kaevandatav jääkvaru 2017.a. alguse seisuga on neis kokku 1,213 mln m³. Madalama purunemiskindlusega (LA35) killustiku karjääre on 3 tükki (9 määraldist) ning neis olev jääkvaru on kokku 6,203 mln m³.

Tabel 2.1. Killustiku tootmiseks sobivate karjääride/määraldiste mahud ja materjalide omadused

Määraldise nimetus	Kasutus-ala	Kaevan-datav jääkvaru päringu hetkel, tuh m³	Kaevan-datud maht 1-5 a tagasi keskmine, tuh m³	Oodatav kaevan-datava varu ammen-dumise aasta	Tihe-dus	Surve-tugevus	Külma-kindlus	Vee-imavus	LA	F
Anelema dolokivikarjäär	Ehitus-dolokivi	1321.2	-38.4	2052	2.85	780	25	2.59	30	4
Anelema II dolokivikarjäär	Ehitus-dolokivi	381.3	-45.1	2026	2.85	780	25	2.59	30	2

Mäeeraldise nimetus	Kasutus-ala	Kaevan-datav jääkvaru päringu hetkel, tuh m ³	Kaevan-datud maht 1-5 a tagasi keskmine, tuh m ³	Oodatav kaevan-datava varu ammendumise aasta	Tihedus	Survetugevus	Külma-kindlus	Veeimavus	LA	F
Anelema III dolokivikarjäär	Ehitus-dolokivi	73.0	0.0						30	4
Koonga dolokivikarjäär	Ehitus-dolokivi	567.0	0.0		2.64	1000	25	2.3	30	2
Koonga II dolokivikarjäär	Ehitus-dolokivi	984.0	0.0		2.64	1000	25	2.3	30	2
Lubja II lubjakivikarjäär	Ehitus-dolokivi	15.0	0.0		2.49	680	26.4	3.71	30	2
Lubja II lubjakivikarjäär	Ehitus-lubjakivi	2352.5	-18.3	2146	2.49	680	26.4	3.71	30	2
Lubja lubjakivikarjäär	Ehitus-lubjakivi	328.5	-63.1	2022	2.49	680	26.4	3.71	30	2
Lubja lubjakivikarjäär	Ehitus-dolokivi	180.5	-27.6	2023	2.49	680	26.4	3.71	30	2
Orgita II paekarjäär	Ehitus-dolokivi	255.8	-4.0	2081	2.52	600	25	2.7	35	2
Orgita paekarjäär	Ehitus-dolokivi	109.8	-4.4	2042	2.52	600	25	2.7	35	2
Orgita V dolokivikarjäär	Ehitus-dolokivi	341.5	-4.7	2090	2.52	600	25	2.7	35	2
Orgita-III paekarjäär	Ehitus-dolokivi	315.9	0.0		2.52	600	25	2.7	35	4
Tarva dolokivikarjäär	Ehitus-dolokivi	153.5	-28.5	2023		400	20		35	4
Tarva II dolokivikarjäär	Ehitus-dolokivi	33.8	-4.2	2025		400	20		35	4
Tarva II dolokivikarjäär	Täite-dolokivi	3.3	-1.1	2020		400	20		35	4

Tabelis toodud mäeeraldiste andmed, jääkvarud ja ammendumise aasta andmed on saadud Maa-ameti geoloogia osakonnast (seisuga 25.01.2017) ning materjalide omadused pärinevad Rail Balticu ehitusmaavarade varustuskindluse uuringust.⁵

⁵ „Rail Balticu ehitamiseks vajalike ehitusmaavarade varustuskindluse uuring. Lõpparuanne“. AS Teede Tehnokeskus, 2017

3. TEEKONSTRUKTSIOONI LAHENDUSED VASTAVALT LÄHTEÜLESANDELE

3.1. INNO-1 lahend

Projektimeeskonna kontseptsioon innovatiivse katendikonstruktsiooni rajamiseks tugineb INNO-1 lähteülesande alusel alljärgnevatel eeldustel (vabadustel):

- Kõik projekteerimisnormist tulenevad parameetrid on muudetavad (st nendest ei pea juhinduma);
- Kehtivad need reeglid, mis sätestavad materjalidele esitatavate nõuete määramist, mitte nõude enda väärtused (standardid ja juhised, mis sätestavad konkreetsete väärtuste mõõtmist, mitte juhised).

Siit tulenevalt, kuna projekti põhiülesanne on leida katendikonstruktsioon, mis kasutaks efektiivselt kohalikke materjale, oli valitud põhimõtteline lähenemine kohalike materjalide väärindamisele (stabiliseerimisele) ja materjalide kasutuse mahtude minimeerimisele.

Seega, esimeses etapis valitud tehnoloogia kokkuvõttes:

- Kasvupinnase eemaldamine töömaalt (kavandatavate kraavide välisservade vaheline ala);
- Aluspinnase profileerimine ja kraavide süvistamine, et tagada töömaa normaalne veerežiim;
- Aluspinnase stabiliseerimine, et tagada ehitustehnika liikumiseks vajalik kandevõime, seejuures võimalikud kaks erinevat tehnoloogilist lahendust:
 - o Aluspinnase stabiliseerimine – LBS (*Enviroseal Liquid Base Stabilizer*⁶, mis paigaldatakse vesilahusena ning aluspinnas segatakse liikuvsegistiga). Stabilisaatori kulunorm sõltub aluspinnase plastsusest;
 - o Aluspinnase stabiliseerimine – tsemendi ja Stabilroad⁷ lisandiga, minimaalse kulunormiga – orienteeruv hind ca 6 €/m².

/Eeldusel, et tuisuohutu mulde kõrguse nõuet ei esitata, siis järgneb aluspinnase stabiliseerimisele tehnoloogiline killustikukiht ja seejärel stabiliseeritud aluse ehitamine/

- Aluse materjali paigaldamine (kohalik killustik) mulde täislaiuses ja selle stabiliseerimine tsemendi ja lisandiga Stabilroad (lisandi kulunorm 2% tsemendi massist) teekatte laiuses;
 - o Stabiliseeritava kihi jaoks vajalik killustik paigaldatakse koos vajaliku tehnoloogilise lisakihi (5...10 cm), mis väldib aluskihi kaasamise stabiliseerimisprotsessis.

⁶ <http://eminfra.com/clay-stabilizer-enviroseal-lbs/>

⁷ <http://www.stabilroad.ee/>

- Kompleksstabiliseeritud aluse ülakihi paigaldamine (uutest materjalidest);
- Kahekihilise asfaltkatte paigaldamine (AC base ja AC surf või AC bin ja AC surf);
- Teises järgus, 7-ndal aastal tasandusfreesimine ja SMA paigaldus.

Sel teel saadav konstruktsioon on igal juhul standardsest oluliselt õhem. Kuna konstruktsioonis on alakihis stabiliseeritud tihe segu või geokomposiit, millel puudub kapillaartõus ning ülakihis tihe asfaltbetoon, peenarde all stabiliseerimata killustikalus, on välistatud vee liikumine konstruktsiooni eeldusel, et katte defektide ilmnemisel need õigeaegselt remonditakse. Kogu konstruktsioon on rajatud külmakindlast materjalist ja teoreetiliselt võimalik külmakartlik materjal jääb stabiliseerimata aluspinnase tasemele.

Projekteerimismäärustes esitatud tuisuvaba mulde kõrguse nõude täitmise asemel on planeeritud kooritud kasvupinnase ladustamine tee kõrvale vallina ning selle valli haljastamine puude/põõsastega. Nimetatud valli paiknemine tee suhtes – vajalik on puhverala, mis püüab kinni teiselt poolt, tee poolt suunduva tuisu, tõenäoliselt ca 10 meetrit, kraavi ja valli vahel. Sedasi on tuisuvaalude kinnipüüdmine tagatud ja sellega tegelikult ka tuisuohutuse nõue täidetud ilma otseselt teekonstruktsiooni tõstmata. Tõsi küll, lahenduse maavajadus on sellega veidi suurem, kui kõrge muldkeha puhul.

Ehitusmaterjalide maksumust on raske prognoosida seetõttu, et vajalik tsemendi sisaldus määratakse laboratoorselt. Mõlemal juhul on stabiliseerimise eesmärgiks rajada suhteliselt madala survetugevusega konstruktsioon, mis vähendab materjali pragunemisega seotud riske. Madala tugevusega materjalis moodustuvad juuspeened praod ning neid on palju, seetõttu ei teki ohtu üksikute suurte pragude tekkeks, mis omakorda võivad peegelduda konstruktsiooni ülakihtidesse.

3.2. INNO-2 eritingimused

INNO-2 lähteülesandes on sätestatud, et kuna esimese etapi töös ei ole piisavalt põhjendatud tuisuohutuse nõude täitmatajätmist, siis tuleb sellest nõudest siiski juhendada. Samas tuleb tellija tähelepanu juhtida asjaolule, et INNO-1 lähteülesandes puudus nõue, et iga kehtiva normisätte eiramist tuleb detailselt põhjendada. Seega oleme seisukohal, et tuisuohutuse nõude lisamine INNO-2 lähteülesandesse on vastuolus INNO-1 sätestatud positsioonidega ning sisuliselt elimineerib olulise osa võimalikest innovaatilistest lahendustest – konkreetset, sunnib kasutama ehitusmaterjale oluliselt suuremas mahus. Uurides analoogilise nõude esinemist Soomes või Rootsis, ei õnnestunud sellist tuvastada.

Olukorras, kus uurimistöö teise etapi jaoks on sätestatud siiski nõue tuisuohutu mulde rajamiseks, mis tähendab muldkeha serva kõrgust 175 cm maapinnast (120 cm 5% tõenäosusega esinevast lumekihi paksusest), langeb ära põhiline argument tsementstabiliseerimise kasutamiseks ning vajalik muldkeha kõrgus tuleb saavutada looduslike materjalidega, mis praktikas vähendab oluliselt võimalusi materjalide mahus kokku hoida. INNO-1 pakutud lahendit on seega võimalik kasutada vaid aladel, kus puudub tuisuohu (ala, mille ulatuses tee läbib metsa).

Lähteülesandes ei olnud nõutud, et iga kehtivate normide sätte eiramist tuleb põhjendada tasuvusarvutustega. Talihoolduse maksumuse erisust vallide/hekkide vahelises madalas muldes või tuisuohutus kõrges muldes ei ole Eestis uuritud ning käesoleva töö raames ei ole see võimalik. Pikaajaliste hoolduslepingute analüüs ei võimalda eristada tuisuohutuse nõuetele vastavate teelõikude hoolduskulusid mittevastavate teelõikude kuludest, seega on erisus teoreetiline.

Võimalikud on järeleandmised vaid materjalide kvaliteedinõuetes, mis võivad olla põhjendamatult ranged. Siiski, põhimõttelist laadi võimalus näiteks külmakartlike materjalide kasutamiseks muldkeha konstrueerimisel avaneb juhul, kui tee konstruktsiooni alakihiks, mis paikneb kõrgveetasemest kõrgemal, on vett mitte läbilaskev ehk kapillaartõusu takistav kiht. Sel juhul on võimalik külmakartlik kiht paigutada kahe vett mitte läbilaskva kihi vahele (eeldame, et katendikonstruktsiooni ülakiht või sidekiht on valmistatud tihedast asfaltbetoonist, mille veeläbilaskvus on minimaalne) ning on võetud tarvitusele abinõud, mis väldivad vee sattumise läbi peenra katte alla.

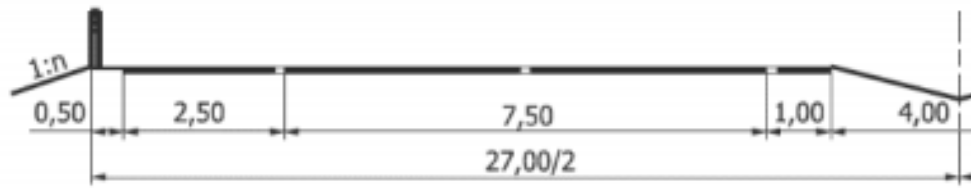
Vajalik mulde nõlva kõrgus tuisuohutuse tagamiseks:

- I klassi tee = 120 cm üle lume 5% tõenäosuse taseme
- Are piirkonnas 5% tõenäosusega lumekihi paksus 55 cm (esines ajavahemikul 1961/62...2000/2001 ehk 40 aasta jooksul kaks korda, talvedel 1981/82 ja 1995/96)
- Seega, mulde serva kõrgus 120+55=**175 cm**

Aasta	Lumekihi paksus, cm	Aasta	cm	Aasta	cm	Aasta	cm
1961/62	25	1971/72	5	1981/82	55	1991/92	15
1962/63	35	1972/73	5	1982/83	18	1992/93	20
1963/64	20	1973/74	20	1983/84	30	1993/94	15
1964/65	25	1974/75	12	1984/85	35	1994/95	18
1965/66	40	1975/76	20	1985/86	20	1995/96	55
1966/67	25	1976/77	42	1986/87	30	1996/97	35
1967/68	25	1977/78	27	1987/88	15	1997/98	20
1968/69	48	1978/79	45	1988/89	30	1998/99	45
1969/70	45	1979/80	25	1989/90	15	1999/00	16
1970/71	30	1980/81	25	1990/91	5	2000/01	18

Kasvupinnase paksus on geouuringu alusel 5...65 cm. Mullakihi keskmiseks paksuseks on arvestatud 35 cm.

Kõrge mulle, mille kõrgus tuleneb avatud maastikul määruse nr 106 kohase tuisuohutuse nõude täitmisest. Mulde serva kõrgus maapinnast 175 cm. Eeldades kasvupinnase paksust 35 cm, on minimaalselt vajalik mulde serva töökõrgus pärast kasvupinnase eemaldamist 210 cm. Ristlõike parameetrid on määratud eelnevalt ühendades lähteülesandes antud I klassi ristlõike normis fikseeritud II klassi (2+1) ristlõikega. Asfaltkatte laius teljest laiemas suunas 10,4 meetrit ja kitsamas suunas 5,65 meetrit, mõlemal pool 0,5 m tugipeenar.



Esialgsed kalkulatsioonid näitasid, et vajalik mulde nõlva kalle on 1:2 või laugem. Kindlustamata peenra kalle 5%, kindlustatud peenra kalle võrdne katte kaldega 2,5%.

Arvestades mulde serva kõrguse maapinnast 175 cm, saame asfaldi serva kõrguseks 177,5 cm ning katte kõrguseks 203,5 cm.

4. MATERJALIDE OMADUSED JA MÕÕTMISED

4.1. Materjalide ja pinnaste arvutuslik kandevõime ning mõõtmised

Katendite dimensioneerimise arvutus peaks tuginema materjalide omadustele tegelikus töörežiimis. Konkreetse kihi töörežiim (pinge) sõltub kihi sügavusest konstruktsioonis. Ühelt poolt suureneb koormuse mõjula igas järgmises kihis tänu pinge loomulikule hajumisele (jagunemisele üha suuremale pinnale) koormuse allikast eemaldudes ja teiselt poolt sügavuse suunas lisanduvast geostaatilisest pingest (omakaalupingest). Tõsi – materjali omakaal moodustab väikese, kuid sügavuse suurenedes aeglaselt suureneva osa liikuvkoormuse poolt indutseeritud pingest ehk liikluskoormusest.

4.2. Materjalide elastsusmoodulid

VSN 46-83⁸ määratletud materjalide arvutusparameetrite kohta ei ole teada nende omaduste määramise tingimused, suure tõenäosusega ei tugine juhendis kirjeldatud parameetrid otsestele mõõtmistulemustele (leiduvad vaid viited väärtuste kogemuslikule päritolule). Kuid eeltoodust tulenevalt, kui soovime hinnata konkreetsel kihil mõõdetava kandevõime kaudu ehituskonstruktsiooni projektile vastavust, tuleks analoogiliselt iga konstruktsioonikihi mõõtmisel kasutada vastava konstruktsioonikihi arvutuslikku pingerežiimi.

Soome katendite projekteerimise juhendites⁹ on viited Odemarki valemi alusel arvutustele ning väited, et arvutatud kandevõime väärtused kihtidel peaksid teatud tingimustes olema määratavad Loadman seadmega. Selles võib kahelda, kuna Inspector on kalibreeritud Loadmani järgi ja Inspectoriga mõõdetavad suurused ei lähe kokku Odemarki valemiga arvutatavatega. Põhjuseks on ilmselt ka asjaolu, et nii Inspectori kui Loadmani koormuse mõju ei ulatu eriti sügavale, väidetavalt umbes kasutatava talla diameetri sügavusele. Erinevatel allikatel on mõjusügavus kuni kaks diameetrit, samas võib see olla ka seotud pingega talla all, kuid tõenäoliselt pigem löögienergiaga. See tähendab, et talla diameetrist sügavamal paiknevate kihtide omadusi selline mõõteviis üldiselt ei arvesta. InfraRYL 2006 ja 2010¹⁰ sisaldavad linnas kasutatavad tüüpkatendid ja iga kihi kohta ka kandevõime väärtused viitega Odemarki valemile ja Loadmanile, millega peaks olema need mõõdetavad. Ka Soome spetsialistid on selle mõõdetavuse suhtes eriarvamusel, tõenäoliselt on mõõdetavus adekvaatsem plaatkoormuskatse teel ning seetõttu on viimases InfraRYL väljalaskes (2017) kõrvaldatud viited Loadmanile, lisamata seejuures ka viiteid plaatkoormuskatsele. Uues InfraRYLis (ilmub lähiajal) on ka tüüpkatendite konstruktsioone ühtlustatud. Soome normide puhul pole selge, mis allikast pärinevad materjalide elastsusmoodulite väärtused.

⁸ https://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/5/5560/index.php

⁹ <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>

¹⁰ <https://www.rakennustieto.fi/infraryl/>

4.3. Mõõteseadmed – katendi kihtide kandevõime mõõtmine

Kandevõime mõõtmiseks kasutatakse mitmeid viise – neist FWD (*Falling Weight Deflectometer*, Eestis olemas Dynatesti mudel, kasutatakse ka Soome seadet KUAB), plaatkoormuskatse, LWD (*Lightweight Deflectometer*, Eestis olemas Dynatesti mudel) ja Inspector (Englo toode, arendatud Loadmani eeskujul) toimivad analoogselt, koormusplaadile rakendatava koormusega. Eeltoodutest vaid LWD on kasutatav sisuliselt igal pinnasel eelkõige seetõttu, et LWD võimaldab rakendada väga laia pingediapasooni.

Nii Taani juhises kui ka Inglise juhendis hinnatakse mõõtmiseks sobivaks pingeks aluspinnasel 50-100 kPa, liival 100-200 kPa ja killustikalusel 200-300 kPa. LWD tehniline pingediapala ulatub 1,3 MPa-ni (standardtelje ratta rehvirõhuks ja seega ka pingeks katte pinnal loetakse 600 kPa). Loadmanil sõltub pinge talla all plaadi diameetrist ja on ilma lisatallata (standardne 132 mm) 1,4 MPa, 200 mm tallaga 0,6 kPa ja 300 mm tallaga 0,3 kPa¹¹. Inspector seadme puhul on pinge standardse 140 mm tallaga 1,3 MPa (soovituslik kasutada killustikaluse mõõtmisel) ja lisatud 200 mm tallaga 0,6 MPa (pinnaste mõõtmisel).

Katendi kihi kandevõime sõltub nii konkreetse viimase kihi materjali elastsusmoodulist, kui ka selle kihi all paikneva kihi või aluspinnase kandevõimest. Erinevates süsteemides loetakse aluspinnaseks ehk lõpmatu paksusega kihiks erinev kihipaksus – VSN 46-83 järgi on selleks piirväärtuseks 75 cm, Soome juhises 100 cm. Selle piiri ületamisel konkreetsest kihist allpool paiknevate kihtide mõju konstruktsiooni kandevõimele loetakse marginaalseks ja seda ei võeta arvesse. Siit tulenevalt, kui konkreetse materjali paksus konstruktsioonis ületab eeltoodud piirväärtuse, siis ei tohiks selle kihi all olevate pinnase- või konstruktsiooni kihtide omadused arvutustulemust mõjutada.

Kahtlemata saame objektiivse tulemuse, kui mõõdame konstruktsiooni kui terviku kandevõimet just selles olukorras, mida loetakse kriitiliseks, arvestuslikuks. Erinevatel konstruktsioonikihtidel on kriitilised väärtused erinevates tingimustes – aluspinnasele ja alusele on see liigniiske periood, ühtlaseteralistele liivadele kuiv periood, orgaaniliste sideainetega kihtidele (sh ka asfaltbetoon) on see kuum periood. Üldiselt eeldatakse siiski, et kõige nõrgem on kogu konstruktsioon siiski kevadisel teedelagunemise perioodil.

Konstruktsiooni kui terviku kandevõimet on võimalik objektiivselt hinnata seadmega, mis võimalikult lähedast suudab taasluua tegelikku koormusolukorda – näiteks, plaatkoormuskatse (PLT) või FWD. Kasutades nõrgemaid seadmeid (Inspector/Loadman, LWD) tuleks mõõtmisi teostada igal kihil. Erilist tähelepanu tuleks juhtida objektiivsuse tagamise vajadusele – üsna jäiga puhvriga Inspector/Loadman seadmed tihendavad oma pika löögiseeria jooksul aluspinnast või liiva ning seetõttu võib mõõtmistulemus olla moonutatud (mõõdetud kandevõime väärtus tegelikust oluliselt suurem), kasutades pehmemat puhvrit ja suuremat koormustalda saame realistlikuma tulemuse. LWD on konstrueeritud kandevõime määramiseks, mitte tihendusteguri leidmiseks.

¹¹ Loadman – kasutusjuhend

Et paljudel pinnastel ja materjalidel sõltub mõõtmistulemus lisaks niiskusele ka koormusest ehk pingest, saame ühetaolise mõõtmisega (konstantne pinge ehk sama diameetriga koormusplaat, fikseeritud koormus ja langemiskõrgus) tegelikku koormusrežiimi mitte peegeldavad tulemused, mis ei saa ka kokku minna kontrollarvutustega.

4.3.1. Niiskusrežiim ja selle mõju mõõtmistulemustele

Niiskuse määramiseks välitingimustes on kasutatav lisaks radioaktiivse elemendiga seadmele (Troxler ja analoogid, mida täna Eestis ei kasutata) mikrolaineahju meetod, mille kohaselt kaalutakse proov enne kuivatamist, kuivatatakse mikrolaineahjuga ja kaalutakse uuesti. Materjali dielektrilise läbitavuse mõõtmisele orienteeritud seadmete kasutamine eeldab iga konkreetse pinnaseliigi eelnevat laboratoorset katsetamist, et määrata pinnase optimaalne niiskus ning dielektriline konstant selle niiskuse juures. Niiskuse mõju kandevõime väärtusele on üsna suur, USA uuringute andmetel võib 3% niiskuse erisus muuta materjali elastsusmoodulit 30% võrra. Ilmselt võib konkreetse konstruktsiooni katsetamisel niiskussisaldus olla erinev ka erinevates konstruktsioonikihtides, seega on tegemist liiga paljude muutujatega süsteemiga.

Tulenevalt niiskuse määramisega seotud probleemidest ja selle mõjust kandevõime mõõtmise tulemustele, on erinevates riikides valdavalt loobunud projekti tugevusarvutuste tulemuste (arvutatud kandevõime väärtus igal kihil) võrdlusest ehitusprotsessi kvaliteedinäitajana ja piirduakse konkreetse kihi materjalile esitatud ja laboratoorsel teel määratud parameetritega ning kohapeal mõõdetakse vaid viimase kihi tihendustegurit (milleks sidumata kihtide puhul peetakse sobivaks Inspector ja Loadman seadmeid). Kasutatakse ka nõuet, et fikseeritud koormusrežiimi korral ei tohiks LWD-tüüpi seadmega (Taani seadmed Dynatest LWD, Prima-100 või Saksa seadmed HMP ja analoogid) mõõdetud deformatsioon ületada fikseeritud piirväärtust, ilma kandevõimet arvutamata.

Sellegipoolest, eeldades, et tegemist on optimaalse niiskusega, tuleks kandevõime mõõtmistel siiski juhinduda konkreetse kihi pingerežiimist, millisel juhul saab üldse eeldada, et mõõtmise ja arvutuste tulemused võiksid olla lähedased.

4.4. Pinnaste arvutusparameetrid

Kasutades tugevusarvutusteks programmi PMS Objekt¹², tuleb tuginevalt geoloogiliste uuringute tulemustest, aluspinnase kandevõimeks määratleda savipinnase ülemisel meetril 20 MPa (materjal 4D – TRVK Väg tabel 4.5-15) ja selle all 10 MPa (materjal 4E – TRVK Väg tabel 4.5-15).

¹² <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniska-dokument/Vagteknik/PMS-Objekt/>

5. MULDE MATERJALID JA KATENDI KONSTRUEERIMINE

5.1. Aluspinnase stabiliseerimisest üldiselt

Kuna pinnase stabiliseerimist käsitletava tehnoloogiaga pole Eestis sel sajandil ehitatud, ei ole ka võimalik aluseks võtta adekvaatset infot töö maksumuse kohta. Arvestades, et olemasoleva (vana, seotud materjale mittesisaldava) teekatendi stabiliseerimise (ca 30 cm paksune kiht) maksumus on orienteeruvalt 8,2 €/m², on hinnanguliselt analoogse paksusega savipinnase stabiliseerimise maksumus 6 €/m², kuna tööoperatsioonid on samad ja erisus on vaid sideaine kulunormis. Aluspinnase stabiliseerimise asemel on võimalik kasutada ka geokomposiitmatti (kahe geotekstiili vahel olev dreniv matt), mis tõkestab vee kapillaartõusu. Geokomposiitmatt koosneb välimistes kihtides geotekstiilist, mis takistab dreni ummistumist ja keskosas drenivast kihist, mis tõkestab kapillaartõusu. Siinjuures tuleb mainida, et geokomposiitmatt tõkestab kapillaartõusu, kuid ei tööta alust tugevdava kihina.

Aluspinnase stabiliseerimine vahetult peale kasvupinnase kihi eemaldamist võimaldab ka tee-ehitustehnika liikumise stabiliseeritud pinnasekihil, mille tagamine membraanil eeldab tehnoloogilise kattekihi rajamist. Vahetult pärast kasvupinna eemaldamist stabiliseeritud kiht elimineerib riski, et sademed takistavad töödega alustamist.

Kasutades aluspinnase stabiliseerimise tehnoloogiat, võib, sõltuvalt aluspinnase kandevõimest stabiliseerimise eel, olla vajalik tehnoloogilise kihi (killustik) paigaldamine, et stabiliseerimiseks vajalik tehnika saaks maapinnal liikuda (projektis tuleb ette näha võimalus, kuid mitte kohustus).

Külgkraavide sügavus peaks olema piisav, et kõrgvee tase ei ulatuks stabiliseeritud aluspinnase alapinnani. See võimaldab kasutada muldkeha rajamiseks mittedreenivaid ja ja külmakartlikke materjale, tingimusel, et vajalik kandevõime on tagatud.

5.2. Mulde ehitamine ja kohalike materjalide kasutamine

Vastavalt INNO-2 lähteülesandele tuleb tagada tuisuohutu mulde kõrgus vastavuses I klassi teedele kehtestatud nõuetega. Kohalike madalakvaliteediliste materjalide kasutus muldkehas on võimalik juhul, kui muldkeha konstruktsiooni vee sattumine välditakse.

- Ülalt – killustikukiht, mis ulatub mulde nõlvani. Killustikukihi all olev materjal peab olema kontrollitult väga madala filtratsiooniga.
- Alt – drenmatiga või tsementstabiliseeritud kihi kasutamisega, mis takistab kapillaartõusu.

Kahe kontrollitud kihi (killustik ja membraan) vahel paiknev täitematerjal võiks endast kujutada killustikusõelmete ja liiva segu, vahekorras 50/50. Sellise segu elastsusmoodul on tõenäoliselt kõrgem kui liival, kuid kindlasti madalam kui killustikel. Moodul on mõistlik laboratoorsel teel määrata.

Ehitusprotsessis tuleb tagada ehitustehnika takistusteta liikumine pärast kasvupinnase eemaldamist. Igal juhul tuleb vahetult peale kasvupinnase eemaldamist profileerida mõlemale poole külakraavid ja tagada nendest vee äravool. Aluspinnase piisava kandevõime ja stabiilsuse tagamiseks on kolm võimalust:

1. Savipinnase jämematerjaliga mehaaniline stabiliseerimine ilma lisanditeta (0/125 purustatud lubjakivi, tehnilisi nõudeid materjalile ei esitata).
2. Savipinnase stabiliseerimine Enviroseal akrüülpõlümeeerstabilisaatoriga LBS (*Liquid Base Stabilizer*¹³), stabiliseerimisprotsess eeldab vesilahuse lisamist pinnasele koos segamisega liikursegistiga (laboraatorseteks katsetusteks vajalik kogus edastatakse vastavale tööühmale) – põlümeeerstabilisaator vähendab savipinnase plastuse ja seeläbi liigitub stabiliseeritud materjal liivaks. LBS töödeldud pinnasekihi elastsusmoodul on Vene uuringute andmetel 180 MPa (võrdne kruusatee kulumiskihi mooduliga).
 - *LBS on USA toode, kuid seda valmistatakse ka Venemaal. Toode toob maale EM Infra OÜ. Toode on Eestis kasutatud Viljandimaal, Maanteeameti objektil riigimaanteel nr 24109 Kõo – Kolga-Jaani, kruusatee stabiliseerimisel koos samuti Enviroseali tootega M10+50. Skepast&Puhkim OÜ uuringu alusel tõusis kruusatee kandevõime tasemelt 143 MPa tasemele 269 MPa, kuid tolmutõrje funktsiooni täitis paremini CaCl₂ lahusega niisutamine, mis osutus ka odavamaks. Kopolümeeri vesilahuse segamisel eksiti tehnoloogiaga, mistõttu on võimalik, et lahus ei olnud ühtlane ja tulemus seetõttu ei anna täit ülevaadet toote mõjust. Konkreetset juhutul kujunes ka maksumus suuremaks kui teiste meetodite kasutamisel.*
3. Savipinnase stabiliseerimine tsementstabiliseerimise meetodil koos *Stabilroad*¹⁴ lisandiga (analoog varem kasutatud *Infracrete* lisandile, laboraatorseteks katsetusteks vajalik kogus edastatakse vastavale tööühmale), mida lisatakse tsemendile 2% tsemendi massist (laotatakse teise laoturiga pärast tsemendi laotamist pinnasele, vastav täppislaotur tavalise traktori ripphaakeseadmena on Eestis olemas).
 - *Stabilroad on Saksa toode ning ka seda valmistatakse muuhulgas Venemaal, toode toob maale Megatrade OÜ. Toode on kasutatud Viljandimaal, Maanteeameti objektil riigimaanteel nr 24109 Kõo – Kolga-Jaani, kruusatee stabiliseerimisel koos tsemendiga. Skepast&Puhkim OÜ uuringu alusel tõusis kruusatee kandevõime tasemelt 143 MPa tasemele 596 MPa, tolmutõrje funktsiooni täitis paremini CaCl₂ lahusega niisutamine, mis osutus ka odavamaks. Tsemendilisandi doseerimisel tehti arvutusviga ja tulemusena kasutati kahekordset kulunormi. Täna on maaletoojal hangitud täppislaotur, mis võimaldab doseerida täpselt tootja soovitatud koguseid ning tulemusena võib eeldada, et kandevõime tõus kujuneb tagasihoidlikumaks ja samal ajal töö kvaliteet vastab paremini nõuetele. Suure sideaine koguse tõttu kujunes segu survetugevus liiga suureks, mistõttu stabiliseeritud materjali kuivamisel moodustusid suuremad monoliidid ja praod.*

¹³ <http://eminfra.com/clay-stabilizer-enviroseal-lbs/> ja <http://www.paragongroup.ru/lbs.html>

¹⁴ <http://www.stabilroad.ee/> ja <http://www.infracrete.com/>

Stabiliseerimisprotsess eeldab tehnoloogilise killustiku või liivakihi paigaldamist (piisab 10 cm, kuid materjalina ei tohiks kasutada sõelmeid või paeliiva), mis peaks tagama stabiliseerimistehnika liikumise võimekuse savipinnasel sõltumatult ilmastikutingimustest.

Mehaanilise stabiliseerimise korral tuleb stabiliseeritud kihi peal kasutada drenmatti, mis lõikab ära võimaliku kapillaartõusu ülemistesse kihtidesse. LBS polümeeri maaletooja andmetel töötab stabiliseeritud kiht membraanina, mille kasutamisel puudub otsene vajadus drenmati kasutamiseks. Tsementstabiliseerimise korral töötab stabiliseeritud materjal membraanina, mis tõkestab vee liikumise.

Polümeer- või tsementstabiliseerimise korral tuleb külgkraavidega tagada, et kõrgveetase ei ulatuks stabiliseeritud kihi alapinnani (soovitavalt 20 cm allpool stabiliseeritud kihi alapinnast).

Nii stabiliseeritud materjalide kui aluspinnase ja muldkehasse planeeritud kohalike materjalide segu (paekivisõelmed + liiv) kapillaartõusu tuleb laboratoorsel teel uurida, kuid arvestada seejuures asjaoluga, et kui nimetatud segu on piisavalt eristatud võimalikult niisketest kihtidest, ei ole nn ümbrikusse paigutatud segu kapillaartõusu mõõdetud väärtus konstruktsioonile ohtlik.

Kohalike materjalidena on arvestatud kohaliku liiva ja paekivisõelmete segu kasutamisega. Segu omaduste kohta puudub adekvaatne info. Segu eeldatavate omaduste osas ei ole ka eksperdid ühel meelel, mistõttu on tarvilik laboratoorne analüüs. Samuti tuleks kohaliku materjalina käsitleda eeltoodud lisanditega stabiliseeritud pinnast, mille omaduste kohta on vaja laboratoorseid katseid. Stabiliseeritud materjali elastsusmoodul peaks Vene uuringute alusel olema ca 180 MPa suurusjärgus, kuid see sõltub kahtlemata palju ka konkreetse materjali omadustest ja vajab kontrollimist katselisel teel, nii laboratoorse kui välikatsega. Siinjuures tuleks tähelepanu juhtida ka sellele, et teedehituses kasutatavate materjalide elastsusmooduleid ei ole Eestis piisavalt uuritud ning täna arvutustes kasutatavad parameetrid ei tugine reaalsele mõõtmistulemustele.

5.3. Etapiviisiline ehitamine konstruktsiooni laiendamisega 2+2 ristlõikesse

Tehnoloogiliselt on otstarbekas stabiliseerida aluspinnas ja rajada kraavid kohe täislaiuses vastavuses 2+2 ristlõikele ning kujundada ristlõike kitsamas osas lamedam nõlvakalle. Hiljem laiendamisel eemaldada täitematerjali pinnakiht kujundades sellele astmelise profiili, mis võimaldab kiht-kihilt muldkeha tihendada. Samuti võib kaaluda võimalust, et stabiliseeritud aluspinnasele (4% kaldega pind) rajada tehnoloogilist liikumist võimaldav ajutine tee.

5.4. Katendi konstruktsioon

Joonisel 5.1 toodud skeemide järgi võib oletada, et trass on lagedal või äärmisel juhul metsalaadse piiri peal. Võimalik ala, mis võib paikneda metsas, on väike.



Joonis 5.1. PRIA põllumassiivide kaart ja trass Pärnu maakonnaplaneeringus ning ortofotol

Olukorras, kus tee ei läbi metsa (võsa), määrab konstruktsiooni paksuse külmakindlusarvutus. Analoogiliselt põhivariandiga on kavas kasutada aluspinnase töötlemist, mis tagab töötingimused ehitusprotsessiks. Dreenmati kasutamise vajalikkus sõltub valitud tehnoloogiast ja soovitatavast muldkeha materjali liigist.

Edasine optimeerimine on võimalik, kuna INNO-1 faasis esitatud konstruktsioon tugineb eeldusel, et stabiliseeritud aluspinnal all on suhteliselt homogeenne pinnas, mille võimalikud külmakerked ei põhjusta ebaühtlast deformatsiooni. Sõltuvalt valitud stabiliseerimise meetodist tuleb laboratoorsel teel määrata stabiliseeritud materjali paisumistegur külmumisel. Optimeerimisel on kaks etappi – optimeerimine lubatud külmakerke piires ning optimeerimine kontrollitult ühetaolise külmakerke tingimustes.

Katendikonstruktsiooni osas on ettepanek kasutada stabiliseeritud aluseid ning siin võib välja tuua kaks võimalust:

- Kompleksstabiliseerimine (KS32 – 15 cm), mis ilmselt tugineb uute materjalide kasutusele, kuna olemasolev teelõik jääb kogujateena kasutusele ja kohapealse materjalina freespuru arvestada ei saa;
- Tsementstabiliseerimine Stabilroad lisandiga (TS – 20 cm).

Mõlemal juhul on stabiliseeritava kihi all tehnoloogiline killustikukiht paksusega 12 cm, mis töötab ka dreenukihina ja ulatub mulde nõlvale välja. Tehnoloogilise killustikukihi

tihendamisel kasutatakse kuni kahte staatilise rulli läbikut, millega killustikukihti ei purustata, vaid materjali terad paigutuvad optimaalsele lähedaselt.

Katte osas on ettepanek etapiviisiliseks väljaehitamiseks, mille korral esmalt ehitatakse välja kahekihiline kate AC 32 base (7 cm) ja AC 16 surf või AC 20 surf (3+1 cm) ning hiljem lisatakse konstruktsioonile SMA 16 kulumiskiht.

Konstruktsiooni tugevusarvutused on teostatavad programmiga KAP ainult juhul, kui ei kasutata tsemendiga stabiliseeritavaid kihte.

Erinevate materjalide vajadus ristlõikes tuleb täpsustada CAD tarkvaras ristlõikega.

Koondtabel kolmest erinevast konstruktsioonist on toodud järgnevas tabelis.

Kõrge mulle	Madal mulle	
Asfaltbetoonkate	Asfaltbetoonkate	Betoonkate
4 cm AC surf / SMA	4 cm AC surf / SMA	4 cm AC surf / SMA
4 cm AC bin	4 cm AC bin	21 cm T3.5
11,5 cm AC base	12 cm AC base	15 cm TS32
15 cm KS32	18 cm KS32	8 cm 0/32 tardkivikillustik
21 cm killustik LA35 (E-240)	21 cm killustik LA35 (E-240)	22 cm 16/64 paekillustik
177 cm arvutuslik täitematerjal (sh 30 cm stabiliseeritud, 147 cm juurdeveetud)	65 cm arvutuslik täitematerjal (sh 30 cm stabiliseeritud, 35 cm juurdeveetud)	20 cm killustik (LA35) – stabiliseeritud pinnas
Kogupaksus – 203 cm	Kogupaksus – 124 cm	Kogupaksus – 90 cm

Teetööde ühikhinnad (ilma käigemaksuta) on toodud järgnevas tabelis.

Konstruktsioonide maksumused (ilma käibemaksuta) on toodud allpool esitatud tabelis (arvestatud 2+1 ristlõike jaoks).

Kihi nimetus	Kihi paksus, cm	Kihi laius, m	Ühikhind*, €/m ²	Maksumus, €/km	Maksumus kokku, €
Kõrge muldega asfaltbetoonkate					
AC surf / SMA	4,0	16,05	12,21	195 971	1 254 211
AC bin	4,0	16,13	8,33	134 363	859 923
AC base	11,5	16,21	15,61	253 058	1 619 574
KS32	15,0	17,45	4,62	80 619	515 962
Killustik LA35 (E-240)	31,0	19,28	9,68	186 690	1 194 817
Täitematerjal (sh 30 cm stabiliseeritud, 124 cm juurdeveetud)	153,5	25,0	14,70	367 249	2 350 392
Stabiliseeritav aluspinnas	30,0	26,0	6,00	156 000	998 400
Maksumus kokku:				1 373 950	8 793 278
Madala muldega asfaltbetoonkate					
AC surf / SMA	4,0	14,04	12,21	171 428	1 097 142
AC bin	4,0	14,08	8,33	117 286	750 633
AC base	12,0	14,33	8,14	116 646	746 536
KS32	18,0	15,50	4,62	71 610	458 304
Killustik LA35 (E-240)	21,0	15,78	6,30	99 414	636 250

Juurdeveetav täitematerjal	35,0	17,50	9,57	58 616	375 144
Täitematerjal (sh 30 cm stabiliseeritud, 35 cm juurdeveetud)	30,0	20,00	8,00	160 000	1 024 000
Maksumus kokku:				795 000	5 088 000
Madala muldega tsementbetoonkatend					
AC surf / SMA	4,0	14,04	12,21	171 428	1 097 142
T3.5	21,0	14,04	75,00	1 105 650	7 076 160
TS32	15,0	15,50	10,00	116 250	744 000
0/32 tardkivikillustik	8,0	15,78	6,13	96 731	619 081
16/64 paekillustik	22,0	16,00	6,30	110 880	709 632
Killustik (LA35) – stabiliseeritud pinnas	20,0	17,00	6,30	107 100	685 440
Maksumus kokku:				1 708 040	10 931 455

* - ühikhinnad vastavalt TTÜ aruandele¹⁵

Betoonkatendiga konstruktsiooni ehitamise ühikmaksumuse leidmisel on lähtutud ühelt poolt uurimistöö lähteülesandes toodud tingimusest (maksumus aluseks tuleb võtta Eesti tingimustele vastava betoonkatendi projekteerimine ja selle tasuvusanalüüs, Ramboll 2013a, Tabel 5 **AB+BET** konstruktsioonitüübi (maksumused)), kuid lisaks on arvestatud viimastel aastatel betoontee ehitamise reaalsete kogemustega (Tallinnas ehitatud betoontee lõik Harku järve ääres). Tabelis toodud betoonkatendi ühikhind on erinevatest allikatest saadud info põhjal leitud keskmine väärtus. Samas on see siiski üsna teoreetiline, kuna Eestis puudub tegelikult reaalne kogemus suures mahus betoontee ehitamise kulude osas.

AB+BET konstruktsioonile on Eesti normide alusel esitatud nõudeks katte pinnast 120 cm külmakindluse kohta. Põhimõtteliselt vastab tsementbetooni paksus käesoleva töö põhivariandis (A) toodud kandva ja siduva kihi kogupaksusele (AC bin + AC base) ja ülejäänud osas on konstruktsioon analoogne. Öismäe katselõigu ja Tampere möödasõidu asfaldist kulumiskihi kogemuste alusel on võimalik täpsustada kulumiskihi paksust, kusjuures kriteeriumiks ei ole niivõrd roopa teke otsese kulumise mõjul (betoonist kandevkiht ei deformeeru, seega peale kulumise on võimalik ka kulumiskihi voolavus, kuid selle vastu kasutatakse jämedamat skeletti ja PMB lisandit bituumenis), vaid nake ja kulumiskihi terviklikkus. Asfaltkattel (A-variant) on konstruktsioon etteantud kogupaksusega, killustikaluse paksus on minimeeritud ning määravaks parameetrik detailisel dimensioneerimisel on külmakindlusarvutus.

5.5. Geotehnilised tingimused

Geotehnilised tugevusarvutused (Ptk 9, Peeter Talviste) näitavad, et 20 profiilist kahel juhul ei tohi muldkeha nõlv olla järsema kaldega kui 1:2 (kalde 1:1,5 korral esineb aluspinnase lihkeoht). Ala täpsem määratlus selgub täiendavate uuringute käigus, mille sisu on geotehnika osas täpsustatud.

¹⁵ Teetööde ühikhinnad ja nende prognoos aastani 2022. TTÜ, Logistikainstituut. 2013

Tuginedes stabiilsus- ja vajumi arvutustele (vt Ptk 9), ei ole vajalik 2+2 muldkeha väljaehitamine täies laiuses – hiljem on võimalik 2+1 väljaehitatud konstruktsiooni laiendada ilma ebaühtlase vajumi riskita.

Geotehnilised kontrollarvutused on tehtud variandile, mis on mõeldud lagedale alale. Kõikide madalamate mullete osas on geotehnilised täiendavad arvutused vajalikud vaid juhul, kui kõrgema variandi korral tingimusi ei rahuldata.

6. KATENDI ARVUTUSTE SÜSTEEMID

Kehtiv juhend kujutab endast siiski VSN 46-83 arendust, kusjuures juhendis 2001-52 sisaldus vaid osa VSN sätetest ja 2017 alguses kehtestatud juhendis on võrreldes eelnenuga korrigeeritud materjalide elastsusmoodulite väärtusi ja varutegureid, kuid ei ole muudetud arvutusaluseid ning sisuliselt ei ole likvideeritud senise programmi puudusi, mis seonduvad kihipaksuse reglemendiga ega lisatud staatilise koormuse kontrollarvutusi. KAP 2.0 on kahtlemata arendus selles mõttes, et võimaldab projekteerida tugevamaid katendeid – samas sisaldades liialt palju probleemseid valdkondi, mida ei ole võimalik parandada arvutusaluseid asendamata.

Seetõttu oleme uurinud põhjalikumalt lähiriikide süsteeme ja arenguid:

- **Soome** – maanteekatendite juhend aastast 2004 on äärmiselt lihtsustatud (Reijo Orama), kuna kriteeriumiteks on vaid kandevõime korduvkoormusele ja külmakindlusarvutus, siis on ka soomlased ise arvamusel, et kuigi elastse vajumi suhtes dimensioneeritakse katend tugevam, ei arvesta süsteem kriitilist pinget asfaldi alakihis, mis eriti õhemate katendite puhul võib osutuda kriitiliseks ka juhul, kui arvutusliku kandevõime väärtus on piisav¹⁶. Väga lihtsa valemi rakendus Excelis on kasutuskõlblik lihtsamateks kontrollarvutusteks. Samas on siirdetegurite väärtused vananenud ning teadmised arenenud – lisaks nn neljanda astme reeglile on olulised nii rehvitüübi valik ja rehvirõhu mõju kui ka paljuteljeliste sõidukite samas jäljes lühikese vahemaa taga järgnevad teljed. Linnade tüüpkatendid InfraRYL juhises uuendatakse 2017 ühtlustades skeeme, kuid samas on välja võetud kandevõime kontrollimise osas viide Loadman seadmele (asendamata seda teise seadmega).
- **Rootsi** – PMS Objekt (MS Access rakendus), mis tugineb Shell BISAR tarkvaral, kuid on oluliselt kohandatud ja täiendatud¹⁷. Dimensioneerimise kriteeriumiteks on lisaks tavapärasele korduvkoormusest tulenevale elastsele vajumile ka tõmbepinged asfaldi alakihis ja staatiline koormus. Väga põhjalikult on käsitletud nii külmakindlusarvutust kui materjalide omaduste muutumist aastaaegades, mis adapteerimisel võimaldab ka Eestis rakendada sobilikku tsoneerimist. Ka aluspinnaste liigitus vastab eurostandarditele. On siiski mõned märkimisväärsed erisused – projekteerijale antakse valida standardsed ehitusmaterjalid, kuid nende hulgas puuduvad kõik paekivikillustikku sisaldavad materjalid. Lisaks on oluline erisus ka asfaldi alakihi materjal – Rootsi süsteemis kasutatakse asfaldi alakihis bituument B160/220, mis annab katte tõmbetsoonile elastsuse ka väga negatiivsetel temperatuuridel. Kui paekiviga seotud materjalid tuleks süsteemi lisada, neid katsetades, siis alakihi asfaldi osas on kaks võimalust – kas võtta ka meil kasutusele sama lähenemine, või muuta tõmbepinge arvutusalgoritmi tegurite väärtusi. PMS Objekt võimaldab kasutajal lisada omapoolselt määratud parameetritega uusi materjale, mis annab võimaluse lisada paekivipõhised materjalid.

¹⁶ Intervjuu Pauli Kolisoja'ga – BRC 2017 raames

¹⁷ Intervjuu Tomas Winnerholtiga Stockholmis, kirjavahetus

- **Taani** – MMOPP2013, mis põhineb MS Accessil (analoogselt PMS Objekt tarkvaraga, mis annab suhteliselt lihtsa võimaluse programmi tekstiosa eestikeelse versiooni ehitamiseks), kuid plaanis on see asendada võrgupõhise rakendusega MMOPP2017 käesoleva aasta sügisel¹⁸. Süsteem on lähedane PMS Objektiga, sisaldades väga laia valiku tee-ehitusmaterjale, erinevalt teistest katab see nii tänavakivid ja hüdraulilise sideainega seotud segud (poolelastsed katendikihid nagu Confalt-Densifalt ning erineva tugevusastmega betoonid), samas puuduvad paekiviga seotud materjalid ning kliimamoodul tugineb Lõuna-Rootsi andmetel ja ei sisalda täiendava tsoneerimise võimalusi. Norra uurijate hinnangul on ka Taani süsteem liialt lihtsustatud¹⁹.
- Lätis on suund võetud Vene uuema normi (ODN-2001) adapteerimisele ja käivitatud võrgupõhine rakendus²⁰. Samas on ODN ja VSN erisus vaid koormusarvutuses ja varutegurites, põhiline nomogrammidel baseeruv mootor on sisuliselt ajalooline ning ei arvesta tänaseid teadmisi ega materjale.
- Leedu adapteeris Saksa tüüpkatendite süsteemi, kuid et tulemus kujunes üsna kalliks, „optimeeriti“ tüüpkatendid ilma selleks mingeid tugevusarvutusi teostamata. Praegu püütakse adapteerida USA süsteemi, mis võimaldaks tüüpkatendeid arvutada ja seeläbi säilitades tüüpkatendid põhimõtteliselt, põhjalike arvutustega neid uuendada²¹.

Eeltoodule tuginedes oleme valinud aluseks Rootsi süsteemi PMS Objekt ning teostanud kontrollarvutused selles süsteemis. Katsetöö tugevusarvutustes oleme eeldanud, et erisused meie materjalide ja Rootsi süsteemis defineeritud materjalide omaduste vahel ei ole määravad ning tegemist on sisuliselt süsteemi kalibreerimise vajadusega, mitte põhimõtteliselt uute moodulitega.

Seega, PMS Objekt adapteerimiseks on vajalik süveneda alljärgnevatesse teemadesse:

- Siirdetegurite võrdlus – Rootsi standardtelje arvutuslik rehvirõhk on 800 kPa, vajalik ühildamine;
- Eesti tsoneerimine (tuginedes bituumenitöös toodud tsoonidele ja Eesti külmumissügavuse kaardile leida Rootsi analoogid - referentsalad) meie tsoonidele;
- Paekivipõhiste materjalide lisamine (sidumata segud, killustikud, stabiliseeritud materjalid);
- Alumise asfaldikihi spetsifikatsioon (kas korrigeerida valemite või rakendada 160/220 ka Eestis);
- Tsementstabiliseerimine kui materjal (sh lisades Stabilroad või muid lisandeid);
- RCC (*roller-compacted concrete*) – tutvuda Läti katsetuste ja kogemustega, sobilik ilma kulumiskihita madala liikluskiiruse ja suure koormusega lõikudes, suurema kiirusega mugavuse tagamiseks vajalik asfaldiga katta.

¹⁸ Kirjavahetus Suzanne Baltzeriga (Taani Teedeinstituut)

¹⁹ Norra magistratöö Põhjamaade süsteemide võrdlusest

²⁰ Intervjuud Riias, täpsustused Tallinnas (Maanteeametis toimunud koolitusel)

²¹ Intervjuu Vilniuses, Rita Kleiziene

Mõningase arendustöö järel püüda projekteerida katendeid reaalsele teele paralleelselt mõlemas süsteemis, põhjalikumate võrdlustega, eesmärk et katta kõik kohalikud materjalid ja optimeerida maksumusele orienteeritult arvutussüsteem. Katendi dimensioneerimise aluseks (kriteeriumiteks) ei ole ainult kandevõime katte pinnal vaid ka täiendavad näitajad, nagu tõmbepinged asfaldi alakihis, mida ehitusprotsessis fikseerida ei saa, see on võimalik kas stendikatsetes või katselõikudel. Et aga reaalses ehitusprotsessis on siiski võimalik jälgida nii iga kihi tihendustegurit kui kandevõime väärtust viimasel kihil, siis optimeerimisprotsessis tuleb tagada kõigi valitud kriteeriumite täitmine minimaalsete kuludega.

Kuna ilmselt on meil soov ka kontrollida konstruktsiooni kandevõime vastavust ehitusprotsessis (eriti sidumata kihtide ehitamisel), on vajalik täiendav uurimistöö. Aluseks valitud Rootsi (ega ka Taani) süsteemides ei ole välja toodud katendi kihtide kandevõime väärtusi, seetõttu on ka nende määramiseks vajalikud katsetööd, mõõtmised reaalsel objektidel (samades kohtades, kogu ehitusprotsessi vältel), fikseerides seejuures ka niiskuse näitajad. On ilmne, et katendi arvutustel tuleb katend dimensioneerida kõige ebasoodsamaks olukorraks. Samas ehitusaegne olukord oma niiskus- ja temperatuurirežiimil ei ole kahtlemata see kõige ebasoodsam. Järelikult tuleb kandevõime kontrollmõõtmiste jaoks teostada katendiarvutus just mõõtmise aastaaja arvutusparameetritega. Ka Rootsi süsteemi (PMS Objekt) üheks aluseks on Boussinesq elastse poolruumi teooria ülemöödnud sajandist (Joseph Valentin Boussinesq [1842-1929] - 1885), mida on täiendanud Odemark (Sven Nils Odemark [1899-1989] - ekvivalentpaksuste meetod, 1949).

Lisaks, et arvutused eeldavad kogu konstruktsiooni valmidust, siis tuleb mõõtmised teostada pingerežiimis, mis on lähedane konkreetse kihi režiimile reaalses olukorras. Inspector ja Loadman seadmed paraku sellist režiimi mõõtmisteks kasutada ei suuda (Inspector – 200 mm tallaga 0,6 MPa pinge talla all, mida kasutatakse liiva mõõtmisel ja 1,3 MPa, mida kasutatakse killustiku mõõtmisel ning ainus varieerimisvõimalus Inspectoril on talla suurus). Ning tegelikult ei vasta ka plaatkoormuskatse killustikul üldjuhul sellele nõudele, kuna 5-tonnine koormus (50 kN) mõjub staatiliselt koormusplaadile diameetriga 300 mm. 300 mm on lähedane suurusjärg raskeveoki rattajäljele mis mõjub konstruktsioonile kulumiskihi peal, mitte sidumata kihi peal kus me tegelikult kandevõimet mõõta suudame ja soovime. Taandatud koormusjälg killustikalusel on mõnevõrra suurem. Reaalselt tähendab see aga, et igale konkreetsele konstruktsioonile tuleks arvutada koormusrežiim arvestades kattekihtide paksust ja kaalu – mis on võimalik teha juba vahetult projekteerimisel. Kui PMS Objekti suudab arvutada kumulatiivse koormuse mõju, siis on see võimalik ka eraldi ehituse aastaaja jaoks, mis võiks olla kas kuum suvi (asfaldi minimaalne moodul) või liigniiske hooaeg vihmaperioodil või vahetult selle järel (aluspinna niiskuse tõttu madal kandevõime).

7. KONSTRUKTSIOONI ARVUTUSED

7.1. Konstruktsiooni arvutused programmiga KAP 2.0

Valitud konstruktsioon – asfalt 4+4+14 ja 25 cm TS/Sr 55 cm killustikalusel 80 cm liivpinnasel – kehtiva juhendi järgi loetakse üle 75 cm kihipaksusega materjal aluspinnaseks. KAP ei võimalda arvutada tsementstabiliseeritud konstruktsiooni (veateade: Katendi materjalide ja paksuste kombinatsioon ei võimalda tsementstabiliseeritud kihi tõmbepingete arvutust).

7.2. Konstruktsiooni arvutus Soome juhendi järgi

Soome juhendi järgi arvestatakse paksemate sidumata kihtide korral konstruktsioon koosnevana 20...30 cm paksustest alakihtidest.

Odemarki valemi järgi on arvutatud kandevõime väärtused alljärgnevad:

	E-moodul	Khipaksus, cm	Kandevõime kihil
Asfaldid (kaalutud keskmine Eesti MPa-st)	2187	15	552,3/558,9
KS32	800	15	275,2/279,9
Killustik (LA35)	240	12	165,8/169,9
Kohalik segatud täitepinnas	150	27	145,2/150
Kohalik segatud täitepinnas	150	25	138,3
Kohalik segatud täitepinnas	150	25	124,7
Kohalik segatud täitepinnas	150	30	99,5
Stabiliseeritud savipinnas (LBS)	150	30	56,2
Stabiliseerimata savipinnas	20	20	18,6
Stabiliseerimata savipinnas	20	25	17,3
Stabiliseerimata savipinnas	20	25	14,5
Aluspinnas (vedelam savi sügavamal kui 1m)	10		

Soome juhendis on fikseeritud, et materjal, mille paksus on vähemalt 100 cm, loetakse aluspinnaseks. Sellisel juhul arvestuslikud kandevõime väärtused algavad täitepinnasest (paksus 107 cm), mille mooduliks (kandevõimeks) on valitud 150 MPa (tabelis esitatud murrujoone taga).

7.3. Konstruktsiooni arvutused PMS Objekt programmiga

Arvutusteks on valitud koormus 3000 raskesõidukit ööpäevas ühes sõidusuunas (raskesõidukiks loetakse üle 3,5 tonni täismassiga sõidukid). Valitud raskeliikluse kasvutempo 3% aastas, üldine liikluse kasvutempo 1% aastas. Raskeliikluse osakaal – 27%, üks raskesõiduk keskmiselt 2 normtelge (arvutus teostatud on Rootsi normtelgedes – 10-tonnine paariratastega, rehvirõhuga 800 kPa). Raja laiuse parandustegur 1,1 [3,5 m vastav) ja tee klassi parandustegur 1,15 (E-tee). Arvutusliku kiiruse parandustegur 0,9 (kiirus 100 km/h). Tulemusena on arvutatud koormus 30 aasta jooksul summaarselt 33 miljonit normtelge. Aluspinnaseks on valitud savi, kandevõimega 15 MPa. Geoloogi/geotehnika hinnangul tuleks arvestada savipinnasega, kandevõimega 20 MPa ülemise meetri ulatuses ning selle all kandevõimega 10 MPa. Lihtsustatud lähenemisel oleme arvestanud 15 MPa ehk materjaliga 4d Rootsi klassifikatsiooni järgi.

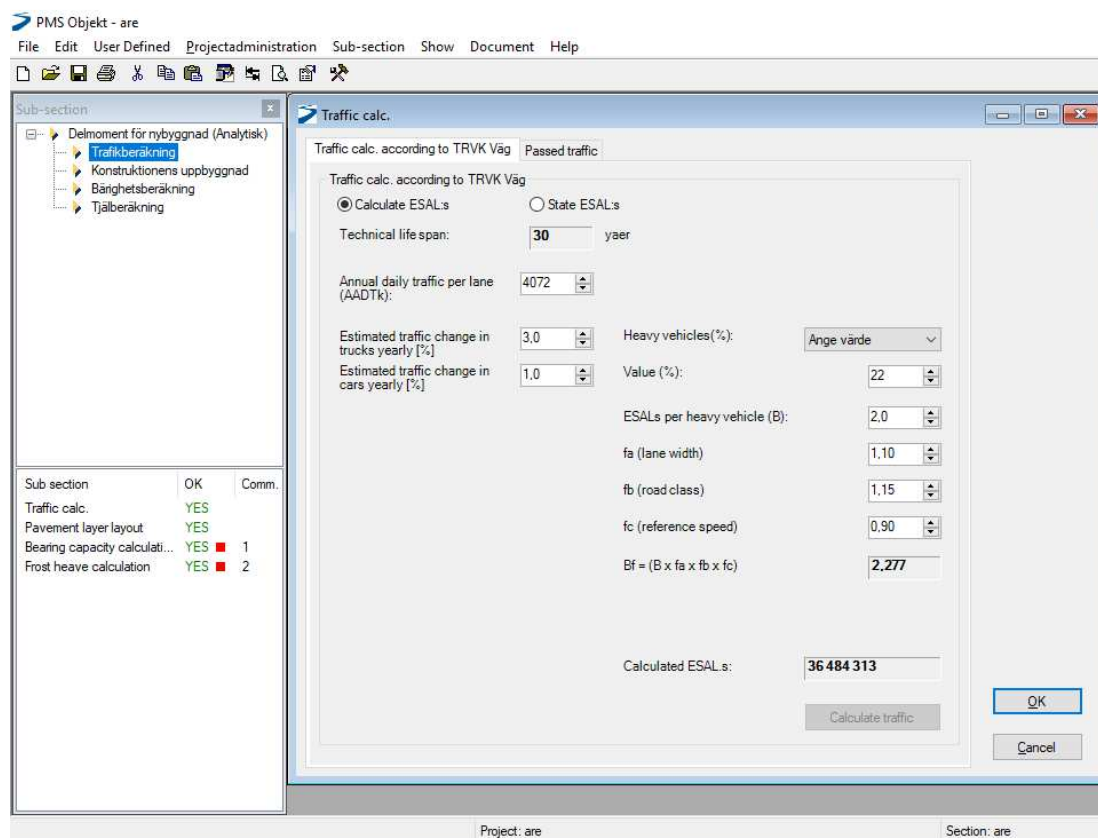
Rootsi süsteemis on piirang mulde nõlvale – kui tugipeenra laius on 0,25...0,5 m, peab nõlv olema 1:3 või laugem, vähemalt 0,5 m tugipeenral tohib nõlv olla 1:2 või laugem. Järelikult peab tugipeenar olema vähemalt 0,5 m ning nõlv 1:2 kogu kavandatava tee osas.

PMS Objekt – juhend TRVK Väg²²:

1) Liiklus ja koormus:

- a. Katendi tööiga 30 aastat
- b. Liiklus: 8153 (3+19=22% raske) enne, 8573 (3+16=19% raske) pärast Are ristmikku
 - i. *Per lane* = 4072 (22%) enne Aret
 - ii. raskeliikluse kasv 3% aastas, üldine 1% aastas
 - iii. 2,0 ESAL/auto (üle 3,5 tonnise sõiduki keskmine siirdetegur)
 - iv. Raja laius – 1,10 (tabel 4.5-27)
 - v. Tee klass – 1,15 (tabel 4.5-28)
 - vi. Referentskiirus – 0,90 (tabel 4.5-29)
 - vii. $B_f=2,277$
 - viii. Koormus – 36 484 313 normtelge 30 aastaga = valitud koormus.
- c. Liiklus – pärast Are ristmikku 8573 autot =19% raske
 - i. 4286 autot suunas, 19% raskeliiklus
 - ii. Raskeliikluse kasv 3%, üldine 1%
 - iii. 2,0 ESAL/auto
 - iv. Raja laius – 1,10
 - v. Tee klass – 1,15
 - vi. Referentskiirus – 0,90
 - vii. $B_f=2,277$
 - viii. Koormus – 33 165 113 normtelge 30 aastaga

²² https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10750/RelatedFiles/2011_072_TRVK_vag_2.pdf



7.3.1. Katendi konstruktsioon kõrge mulde korral

Katendi konstruktsioon (lähtuvalt tehnoloogilistest parameetritest, algne valik):

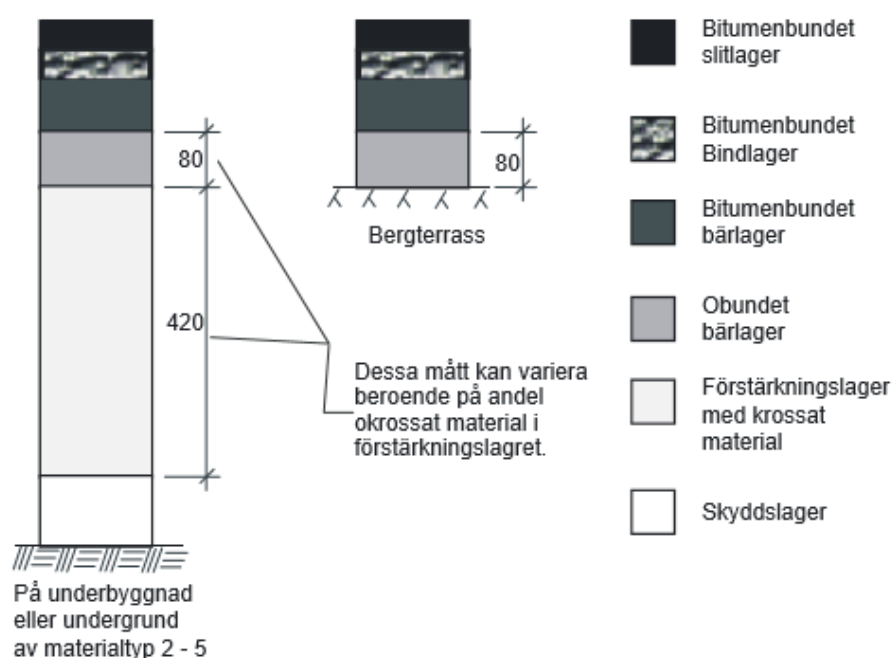
- Aluspinnas 10 MPa savipinnas
- Aluspinnase ülakiht (ülemine meeter) 20 MPa savi (pärast stabiliseerimist 70 cm)
- Stabiliseeritud kiht (membraan) savipinnases 30 cm – LBS=180 MPa (allikas: Paragon.ru) või tsementstabiliseerimine Stabilroad lisandiga (samuti 180 MPa, mis saavutatakse väiksema tsemendisaldusega)
- Täitepinnas külmakartlik liiva ja paesõelmete segu – 180 MPa (hinnang)
- Killustik 12 cm 240 MPa (paekillustik LA35)
- Stabiliseeritud alus KS32 - 15 cm = 1000 MPa (tuletatud Soome normide alusel)
- AC 32 base 7 cm
- AC 20 bin 5 cm
- SMA või AC 16 surf 3 cm

Katendi dimensioneerimisel kasutame Rootsi tarkvara PMS Objekt. Selle praktilises kasutuses (praeguses versioonis) on kihtide arv aluspinnasel piiratud kuuega. Konstrueeritud variandis on kokku kaheksa kihti. Järelikult tuleb ühendada aluspinnase kaks erinevat savikihti ning sama kandevõime väärtusega stabiliseeritud kiht ja kohaliku täitematerjali kiht.

Odemarki valemi alusel 10 MPa aluspinnasel 70 cm 20 MPa materjali peal on 17,5 MPa. Seega arvutatav konstruktsioon:

- Aluspinnas 18,6 MPa
- Stabiliseeritud savipinnas ja mulde täitematerjal (liiva ja sõelmete segu) 150 MPa, paksuse kujundab tuisuohutu mulde kõrgus (algne: 107 cm). E-moodul on tuletatud, esialgne hinnang 180 MPa stabiliseeritud segule tugineb Paragon'i juhisel ning täitematerjalil valitud killustiku ja liiva vahele.
- Paekillustik 12 cm 240 MPa
- Kompleksstabiliseerimine 15 cm 1000 MPa
- AC 32 base 7 cm
- AC 20 bin 5 cm
- AC 16 surf või AC 16 SMA 3 cm, millele lisandub kulumisvaru (Rootsi skeemis 2 cm)

PMS Objekti poolt pakutav konstruktsioon sidumata alusega, (2011-072 TRVK väg 2²³) joonis 4.4-9:



PMS Objekt – süsteemi pakutav konstruktsioon 2+1 tee, 4d aluspinnasele (15 MPa):

- 40 mm AC kulumiskiht
- 40 mm AC sidekiht
- 130 mm AC kandevkiht
- 80 mm kiilekillustik
- 560 mm purustatud kalju

Arvutustulemused:

- Tõmbepingete alusel – ressurss 16 miljonit, vaja 33 miljonit
- Vajumi alusel – ressurss 5 miljonit, vaja 66 miljonit

²³ <https://trafikverket.ineko.se/se/trvk-v%C3%A4g>

- Lubatud pinget staatilisel koormusel – max 0,001200, arvutuslik 0,001029

Suurendame konstruktsiooni paksust (kandevkihi asfalt) 2 cm võrra ja lisame liivakihi, et kogupaksuses oleks tagatud 160 cm. Samuti kahandame purustatud kaljupinnase (killustiku) elastsusmooduli tasemele 240 MPa ning liiva mooduli tasemele 50 MPa.

- Tõmbepinged – ressurss 33,6 miljonit
- Vajumi alusel – ressurss 93 miljonit
- Pinget staatilisel koormusel – arvutuslik 0,000461

Külmakindlusarvutuse võrdlustsoon – Stockholmi piirkond, Tübingen. Arvutuslik külmakerge – 0 mm, lubatud üldiselt 60 mm kuid sellel aluspinnasel lubatud 20 mm. Külmumissügavus 793 mm. 40 mm AC kulumiskiht (E-4000).

Konstruktsioon A (killustikalus):

- 40 mm AC kulumiskiht (E-4000)
- 40 mm AC sidekiht (E-4000)
- 150 mm AC kandevkiht (E-2500) *bituumen 160/220 alakihis
- 80 mm kiilekillustik (E-150)
- 420 mm purustatud kalju (E-240) *asendatud materjal, paekillustik
- 870 mm liiv (E-50) *asendatud materjal, nõrgem, kuna katendi paksuses on suur varu
- Aluspinnas 4-d (E-15)

Konstruktsiooni kogupaksus – 1600 mm, seotud kihtide paksus 230 mm. Konstruktsiooni kogupaksus on ette määratud tuisuohutu kõrguse nõudega.

Kontrollarvutuse tulemused:

- Ressurss tõmbepingel – 33,6 miljonit telge (vaja: 33,0)
- Ressurss vajumile – 93,2 miljonit telge (vaja: 66,0)
- Pinget staatilisel koormusel – 0,000461 (max lub 0,001200)
- Külmakerge – 0 mm, külmumissügavus 793 mm.

Nagu näha, on tegelikult veel optimeerimiseks ruumi. Katendikonstruktsioon võiks olla õhem. Samas, arvestades, et Tellija soovil I klassi tee tuisuohutu mulde kõrguse saavutamise eeldab ka eemaldatud kasvupinnase asendamise konstruktsiooniga (muldega), siis suureneb vajalik konstruktsiooni paksus veelgi.

Konstruktsioon B (killustikalus)

Variant, kui kogu konstruktsiooni paksus on 175 cm, mis tagab nii kasvupinnase asendamise kui nõutud tuisuohutu kõrguse. Täitepinnaseks on kasutatud liivpinnast, mis ei vasta nõuetele.

- 4 cm AC kulumiskiht
- 5 cm AC sidekiht

- 15 cm AC kande kiht (alumine kiht B 160/220, ülemine B 70/100)
- 30 cm killustik (E-240) – kahekihiline killustikalus, ülakiht tardkivikillustikust, alakihit LA-35)
- 37 cm liiv (E-70)
- 84 cm täitepinnas (E-35, peenosiseid alla 35%)
- Aluspinnas 4d (E-15)

Põhimõtteliselt on võimalik asfaltbetooni kihipaksuste kahandamine kui rakendada kompleksstabiliseeritud kiht (seda paraku ei ole standardsete materjalide nimistus, selle omadused tuleb süsteemi lisada mis on võimalik, kuid eeldab parameetrite täpsustamist). Samuti on võimalik asendada kolmekihiline asfalt kahekihilise asfaldiga tsement-stabiliseeritud alusel.

Konstruktsioon C (kompleksstabiliseeritud alusel)

Konstrueerimisel ei võimalda PMS Objekt tarkvara killustiku kihipaksust alla 21 cm. PMS Objekt optimeerimisel (korrigeerides materjali parameetreid vastavaks KS32-le) on saadud alljärgnev konstruktsioon B ja tulemused:

The screenshot shows the 'Pavement definition' window in the PMS Objekt software. The window has a menu bar (File, Edit, User Defined, Projectadministration, Sub-section, Show, Document, Help) and a toolbar. The main area is divided into three tabs: 'Foundation level and Pavement type', 'Thickness and stiffness moduli', and 'Other properties'. The 'Thickness and stiffness moduli' tab is active, showing a table with the following data:

Material	Thickness [mm]	Winter [MPa]	Thaw.Winter [M]	Thawing [MPa]	Late spring [M]	Summer [MPa]	Fall [MPa]
1 Bitumenbundet siltlager	40	14500	13000	12000	11500	4000	11000
2 Bindilager	40	15000	15000	10000	10000	4000	10000
3 Bitumenbundet bärlager	115	11500	10000	9000	8500	2500	8000
4 Obundet bärlager	150	1000	1000	800	800	800	800
5 Förstärkningslager krossat mate	210	450	240	240	240	240	240
6 Skyddslager	1535	1000	100	70	85	100	100
T 4e - Lera	0	10	10	10	10	10	10

Below the table, the summary shows: 'Total thickness bound layers: 195 mm' and 'Total Thickness above upper formation level: 2090'. At the bottom, there are buttons for 'Add material...', 'Replace...', 'Move up', 'Add sub-grade...', 'Define formation level...', 'Delete', 'Move down', 'Save material', and 'OK/Cancel'. A message box at the bottom right says 'Altered pavement type - Save if you want to use it again!'.

Konstrueerimisel on käsitletud ühe kihina kogu muldkeha alates 10 MPa savipinnasest kuni killustikuni, arvutustes on tugevus tagatud ka juhul, kui muldkeha materjaliks on liiv (70 MPa). PMS Objekt tarkvara ei võimalda arvutada õhemat killustikalust, seetõttu on tegemist vastastikuse kompenseerimisega (tegelikult tugevamast materjalist muldkeha ja õhem killustikalus, kui PMS arvutustes kasutatud). Eeldame, et asfaldid on analoogid meie asfaltbetoonidele. Kompleksstabiliseeritud kihi elastsusmooduliks on valitud 800 MPa ning killustikul 240 MPa. Kuna Rootsi süsteemis eeldatakse asfaltbetooni alakihis B160/220 kasutamist, on otstarbekas AC base kiht ehitada kahes kihis, alumine 160/220 ja ülemine 70/100 bituumeniga.

PMS Objekt - are

File Edit User Defined Projectadministration Sub-section Show Document Help

Sub-section

- Delmoment för nybyggnad (Analytisk)
 - Trafikberäkning
 - Konstruktionens uppbyggnad
 - Bärighetsberäkning
 - Tjälberäkning

Sub section OK Comm.

Traffic calc. YES

Pavement layer layout YES

Bearing capacity calculati... YES 1.2

Frost heave calculation YES 3

Bearing capacity

Results Compare axle loads Comparison singular load Strain results in detail

Correction factor that takes moisture and water in the sub-grade into account.

Correction factor fd: 0,7

If the correction factors has been changed it is advisable to note why the change has been made in the section notes.

Number of ESALs, accumulated

Horizontal tensile strain in the under side of bitumen bound layers

Ntill,bb 38 655 792

Nekv 36 484 313

Compression strain on the foundation level

Ntill,te 394 021 675

Nekv * 2 72 968 626

Vertical compression strains, singular load

maximum allowed 0,001200

Calculated 0,000319

Analyze the pavement as a

Flexibel Pavement

☒ GBÖ/BBÖ

☐ User defined

Rigid Pavement

☐ CBO

☐ BO

Calculate OK Cancel

Tugevusarvutuste veerežiimi parandustegur on valitud 0,7 (piirkond on niiske). Arvutus-tulemuste järgi on suur varu maapinna vajumi arvutuses nii dünaamilisele kui staatilisele koormusele.

PMS Objekt - are

File Edit User Defined Projectadministration Sub-section Show Document Help

Sub-section

- Delmoment för nybyggnad (Analytisk)
 - Trafikberäkning
 - Konstruktionens uppbyggnad
 - Bärighetsberäkning
 - Tjälberäkning

Sub section OK Comm.

Traffic calc. YES

Pavement layer layout YES

Bearing capacity calculati... YES 1

Frost heave calculation YES 2

Frost calculation

Frost heave calculation Graphical overview

VVIS Information

County: Stockholm

Sectionet in: Stockholm

Station: Turinge (246)

Season: 2001/2002

Åkemark, lägpunkt vid mindre vattendrag

Commentary

Lifting speed above formation level [mm/dag]: 0,5

Lifting speed below the lower foundation level [mm/day]: 1,5

Frost heave Calculated lift (heave) [mm]: 0

Maximum allowed frost heave [mm]: 50

Frostdept adjusted, [mm]: 700

IblFactor 1,00

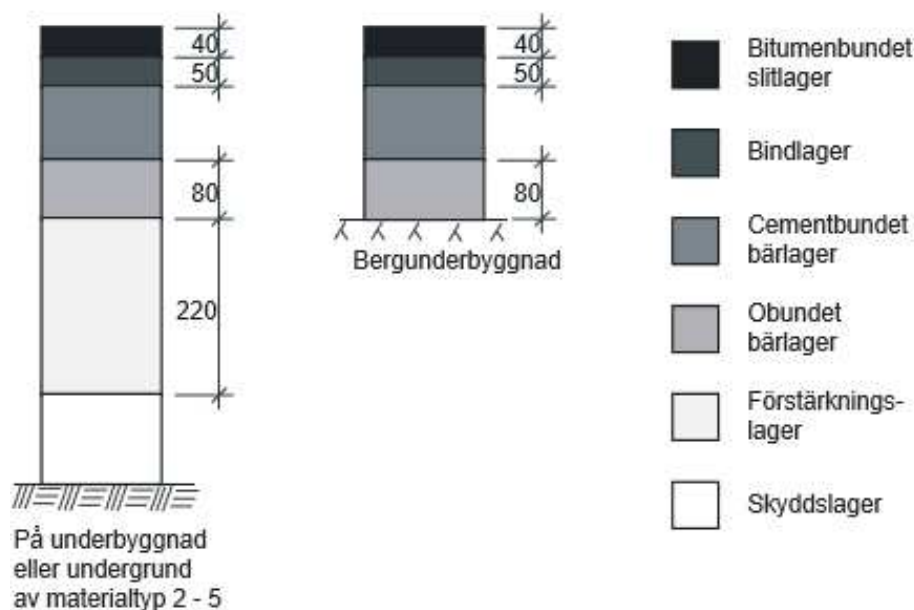
Calculate OK Cancel

7.3.2. Konstruktsiooni arvutused madala mulde korral

Liiklus ja koormus on samad, mis eelnenud variandis. Konstruktsioon on põhimõtteliselt sama, kuid asfaldi ja stabiliseeritud kihtide paksust on suurendatud, täitematerjali vajadus on oluliselt väiksem kuna tuisuohutu mulde kõrgust pole vaja arvestada.

Konstruktsioon D (tsementstabiliseeritud alusel)

Tüüpkonstruktsioon (2011-072 TRVK väg 2²⁴) – tsementstabiliseeritud alusega, joonis 4.4-7:



Seega, minimaalselt vajalik ülemistes kihtides 4 ja 5 cm asfaldi, killustikalus vähemalt 22 cm, millele lisandub kiilekillustik 8 cm. Ülejäänud parameetrid vastavalt arvutustele (sh tsementstabiliseeritud kiht).

- 40 mm AC kulumiskiht
- 50 mm AC sidekiht (70/100)
- 240 mm tsementstabiliseeritud kiht Stabilroad lisandiga, stabiliseeritavas segus on sees peenosised (sõelmed)
- 240 mm killustik (paekillustik, LA40, E-200)
- 380 mm liiv (E-70)

Konstruktsiooni kogupaksus 960 mm, seotud kihtide paksus 330 mm.

Kontrollarvutuse tulemused:

- Ressurss tõmbepingel – 941 miljonit telge (tsementstabiliseeritud aluse tõttu)
- Ressurss vajumile – 67,9 miljonit (vaja 66,0)

²⁴ <https://trafikverket.ineko.se/se/trvk-v%C3%A4g>

- Pinge staatilisel koormusel – 0,000490
- Külmakeerge – 20 mm, külmumissügavus 1073 mm (savipinnasel on max lubatud külmakeerge piiratud 20 mm-ga, muidu 50 mm)

Aluspinnase stabiliseerimine ei mahu PMS Objekt puhul standardsete materjalide hulka. Tugevusarvutuste järgi saab konstruktsiooni rajada otseselt stabiliseeritud savipinnasele, kuid külmakindlusarvutus seda ei võimalda.

Katte kõrgus maapinnast – kuna kogu konstruktsiooni paksus on 96 cm, siis see katab ka eemaldatud kasvupinnase mahu (arvestuslikult 25 cm), siis katte kõrguseks maapinnast jääb 71 cm.

Käsitledes savipinnast kahekihilisena (100 cm – 4d E-15 ja selle all 4e E-10), saame konstruktsiooni alljärgnevas:

- 40 mm AC kulumiskiht
- 50 mm AC sidekiht (70/100)
- 230 mm tsementstabiliseeritud kiht Stabilroad lisandiga, stabiliseeritavas segus on sees peenosised (sõelmed)
- 240 mm killustik (paekillustik, LA40, E-200)
- 390 mm liiv (E-70)
- 1000 mm olemasolev aluspinnas 4d (E-15)
- Aluspinnas 4e (E-10)

Sel juhul on konstruktsiooni paksus 95 cm ja katte kõrgus maapinnast 70 cm. Muutus võrreldes algsega – TS kihi paksus kahanes 1 cm ja liivakihi paksus suurenes 1 cm.

Sellegipoolest, arvestades tehnoloogilist vajadust iga ilmaga tööde teostamiseks, tuleks kavandada savipinnase stabiliseerimine. Selle tulemusena paraneb oluliselt aluspinnase kandevõime ning see võimaldab kokkuhoidu materjali mahtudes, eelkõige killustikukihis aga ka tuisuohutu mulde konstruktsiooni puhul, kus tsementstabiliseerimine aluse ülakihi ei anna majanduslikku efekti.

Konstruktsioon kompleksstabiliseeritud alusel

PMS Objekt - are

File Edit User Defined Projectadministration Sub-section Show Document Help

Sub-section

- Delmoment för nybyggnad (Analytisk)
 - Trafikberäkning
 - Konstruktionens uppbyggnad
 - Bäghetsberäkning
 - Tjälberäkning

Sub section OK Comm.

Traffic calc. YES

Pavement layer layout YES

Bearing capacity calculati... YES 1.2

Frost heave calculation YES 3

Pavement definition

Foundation level and Pavement type Thickness and stiffness moduli Other properties

Material	Thickness [mm]	Winter [MPa]	Thaw Winter [M]	Thawing [MPa]	Late spring [M]	Summer [MPa]	Fall [MPa]
1 Bitumenbundet slitlager	40	14500	13000	12000	11500	4000	11000
2 Bindlager	40	15000	15000	10000	10000	4000	10000
3 Bitumenbundet bärlager	120	11500	10000	9000	8500	2500	8000
4 Gruslslag	180	1000	800	800	800	800	800
5 Förstärkningslager krossat mate	210	450	240	240	240	240	240
6 Skyddslager	650	1000	1000	150	150	150	150
T 4d - Lera	0	15	15	15	15	15	15

Total thickness bound layers: 200 mm Total Thickness above upper formation level: 1240

Add material... Replace... Move up

Add sub-grade... Define formation level... Delete Move down

Save material

Altered pavement type - Save if you want to use it again!

OK Cancel

Konstruktsiooni minimaalselt vajalik paksus seega 124 cm, millest 35 cm jääb maapinnast allapoole.

PMS Objekt - are

File Edit User Defined Projectadministration Sub-section Show Document Help

Sub-section

- Delmoment för nybyggnad (Analytisk)
 - Trafikberäkning
 - Konstruktionens uppbyggnad
 - Bäghetsberäkning
 - Tjälberäkning

Sub section OK Comm.

Traffic calc. YES

Pavement layer layout YES

Bearing capacity calculati... YES 1.2

Frost heave calculation YES 3

Bearing capacity

Results Compare axle loads Comparison singular load Strain results in detail

Correction factor that takes moisture and water in the sub-grade into account.

Correction factor fd: 0.8

If the correction factors has been changed it is advisable to note why the change has been made in the section notes.

Number of ESALs, accumulated

Horizontal tensile strain in the under side of bitumen bound layers

Ntill.bb 48 484 144 Nkv 36 484 313

Compression strain on the foundation level

Ntill.te 75 910 553 Nkv * 2 72 968 626

Vertical compression strains, singular load

maximum allowed Calculated

Compression strain on the foundation level 0.001200 0.000501

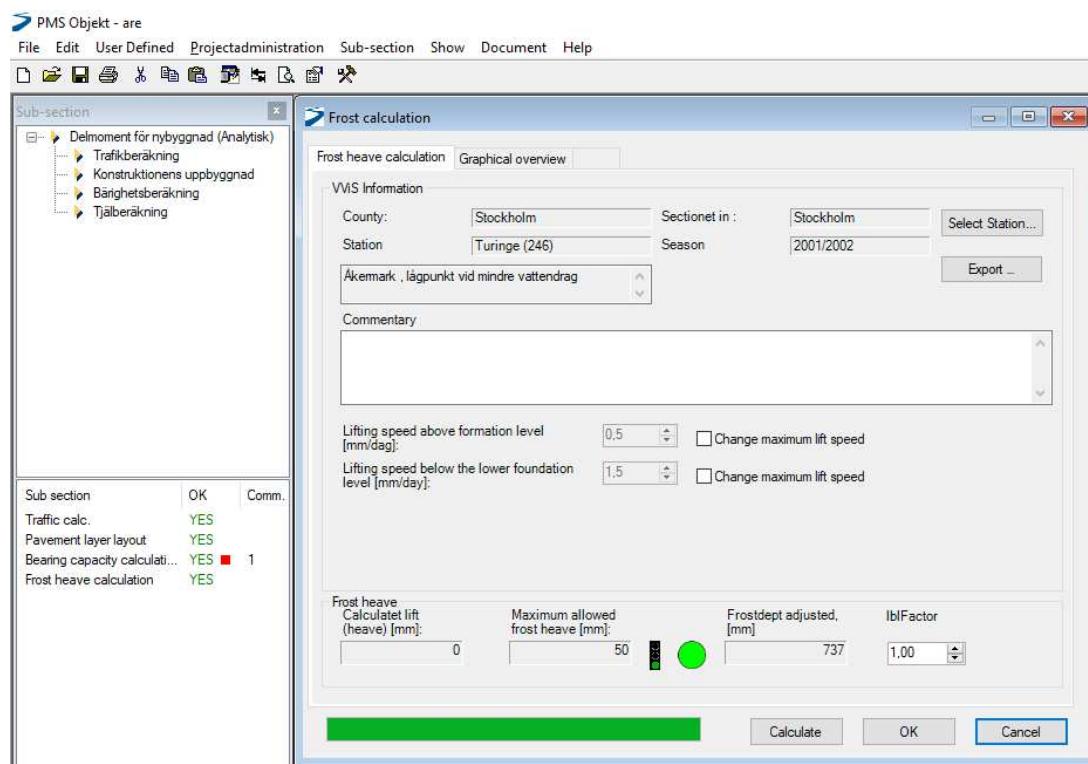
Analyze the pavement as a

Flexibel Pavement Rigid Pavement

☐ GB0/BB0 ☐ CB0

☒ User defined ☐ BO

Calculate OK Cancel



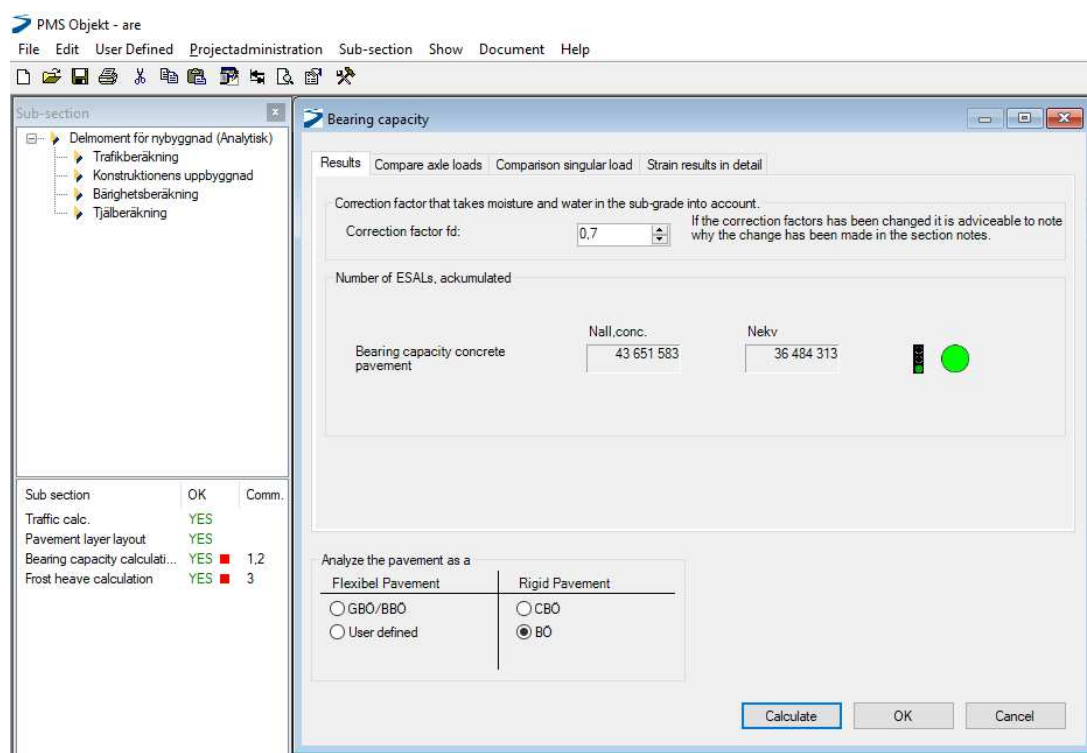
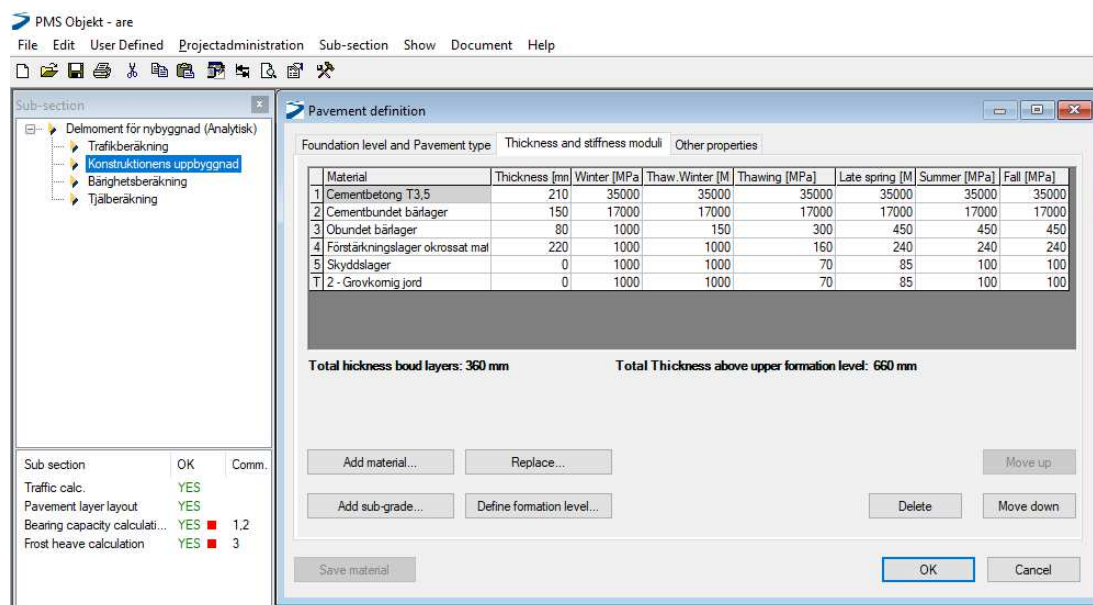
Et maksimaalselt ära kasutada PMS Objekti võimalused meie materjalide kasutamiseks, on otstarbekas teha tööviit Borlängesse ning koos kohalike ekspertidega (Tomas Winnerholt jt) õppida tundma PMS piiranguid ja võimalusi kohalike materjalide kasutuseks.

Valitud materjalide arvutusparameetrid vajavad kontrollimist mõõtmise teel.

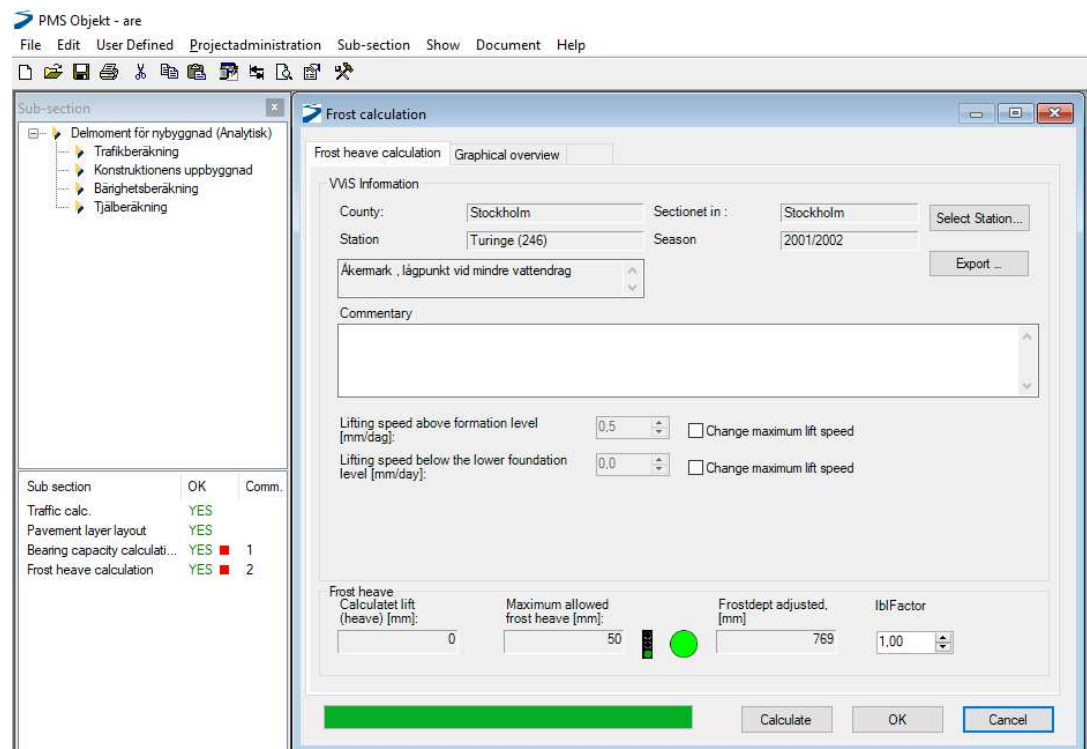
7.3.3. Konstruktsiooni arvutused betoonkatendi korral

Arvutuste baas (liiklus/koormus) on sama, mis eelnenud variantidel.

Arvutustes on valitud aluspinnaseks liivpinnas, mis vastab põhimõtteliselt ka stabiliseeritud aluspinnasele. Killustikalus on kahekihiline – 220 mm paekillustikust alust (16/32 või 16/64) ja 80 mm 4/32, mis sisaldab ka tehnoloogiliselt vajaliku vahekihi tsementstabiliseeritud katte alakihi rajamiseks (Stabilroad lisandiga tsementstabiliseerimine). Valitud on Rootsi reglemendi järgi kesktugev betooni mark, sest madalama variandiga lubatud betooni paksuse juures ei ole võimalik saavutada vajalikku koormuse vastupidavust.



Arvutused näitavad, et põhimõtteliselt betoonkatte koormusliku vastupidavuse tagamiseks ei ole otstarbekas aluskihte tusedamaks kavandada vaid tulemuse saavutamine on võimalik vaid ülahihi paksuse suurendamise teel. Alumiste kihtide paksused on tarkvaraliselt blokeeritud (teiste paksuste kasutamisel keeldub programm arvutamast). Sisuliselt on tegemist tüüpkatendi lahendusega, mida korrigeeritakse vaid ülahihi paksuse muutmisega.



Lubatud külmakerge on 20 mm, arvutuslik külmakerge puudub kuigi konstruktsiooni kogupaksus on vaid 66 cm.

7.4. Kohalike materjalide kasutusest

Eeltoodud konstruktsioonides on kasutatud:

- Madalamargiline killustik nii tsementstabiliseeritavas segus kui eraldi killustikukihis;
- Sõelmed tsementstabiliseeritavas segus;
- Liiv karjäärast, kas 70 MPa (Rootsi nõuetele vastav filterkiht) või 50 MPa.

8. ETTEPANEKUD MULDE JUHISE SUHTES

Asendada nõue liivakihi filtratsiooni kohta nõudega külmakindluse suhtes, kuna vee väljaviimine konstruktsioonist toimub killustikaluses. Nõuded liivale võtta otseselt Rootsi normist filterkihi (*skyddslager*) kohta. Selleks tuleb täpsustada nõuete olemust, lähtuvalt PMS Objekt standardsetes materjalides antud arvutusparameetritest:

- Külmakindel
- „water quotient“ 0,13
- „dry density“ 1900
- „porosity“ 0,28
- „saturation“ 0,88
- „heatc.unfrozen“ 1,8
- „heatc.frozen“ 2,43

9. GEOTEHNIKA

9.1. Arvutusmudeli koostamine ja selle parameetrite põhjendamine

9.1.1. Geoloogilised lähteandmed

Geoloogilised andmed geotehniliste arvutuste tegemiseks saadi aruandest „Are möödasõit. Riigitee nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla. Are vald, Pärnu maakond.“²⁵

Uuringute käigus puuriti 47 asukohas ja tehti suru-löökpeneratsiooni katseid 23 ning tiivikkatseid 6 asukohas. Surupeneratsiooni ja tiivikkatsed tehti puuraukude vahetusse lähedusse ja aruandes nende numeratsioon ühtib puuruagu numbriga.

Uuritav ala paikneb Lääne-Eesti madalikul, Pärnu nõo viirsavide alal. Pinnakatte ülemise osa moodustavad uuringualal peamiselt muld ning vähesel määral täide. Mulla all levib ühtlaselt kogu trassi ulatuses jääjärveliste viirsavide kompleks. Viirsavide kompleksi all lamab jääliustikuline moreenide kompleks, mis katab aluspõhjalise Siluri ladestu Jaagarahu lademe lubjakivi.

Uuringute alusel [1] on stabiilsuse ja vajumise arvutuste kohaselt olulised pinnasekihid – savid ja möllsavid – jagatud kaheks kihiks:

KIHT 5. Savi (pinnase grupp B1) – voolava kuni kõva konsistentsiga, milles esineb möllise peenliiva varve. Kihi pind lamab maapinnast 0,05...2,4 m sügavusel, absoluutkõrgusel 9,0...16,05 m. Kihi paksuseks mõõdeti 0,25...4,8 m. Kiht esineb uuringupunktides 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 44, 45, 46 ja 47. Keskmine koonuse takistus surupenerreerimisel oli $q_c=0,6$ MPa (0...2,7 MPa). Keskmine looduslik veesisaldus $W_n=46\%$ (29,0...86,6%). Savi puhul võib täheldada selle ülemises osas paiguti esinevat kuivamiskoorikut, mille puhul loodusliku veesisalduse näitajad jäävad alla keskmiselt 40 % ning savi on kõva kuni poolkõva konsistentsiga. Kuivamiskooriku paksus on ca 1,0 m, kuid see ei esine ühtlaselt kogu uuritud trassi ulatuses.

KIHT 6. Rohke liivaga möllsavi (pinnase grupp B1) – pehme kuni kõva konsistentsiga. Kiht esineb maapinnast 0,3...3,1 m sügavusel, absoluutkõrgusel 7,35...15,70 m ning selle paksuseks mõõdeti 0,6...4,55 m. Kiht esines uuringupunktides 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 25, 29, 30, 31, 34, 35, 37, 38, 44, 45, 46 ja 47. Keskmine koonuse takistus surupenerreerimisel oli $q_c=2,4$ MPa (0,2...13,2 MPa). Löökpenerreerimisel oli löökide arv 20 cm läbimiseks $N_{20}=8...49$ (keskmine 20 lööki), dünaamiline eritakistus $q_d=7,1...43,3$ MPa (keskmine 18,0 MPa). Loodusliku niiskuse sisaldus muutub laiades piirides ($W_n=10,5...54,7\%$). Väiksemad protsendid 10,5...17,8% on omased poolkõvale möllsavile ning suured 52,2...54,7% pehmele möllsavile.

²⁵ Are möödasõit. Riigitee nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla. Are vald, Pärnu maakond.“ Ehitusgeoloogilise uurimistöö aruanne, Tallinn 2017. REIB OÜ töö nr GE-2210

9.1.2. Geotehniline mudel arvutusteks

On täiesti selge, et kirjeldatud ja aruandes eraldatud pinnasekihtidega korrektseid geotehnilisi arvutusi läbi viia ei saa. Eraldatud pinnasekihtide füüsikalised omadused muutuvad eraldatud kihtide piirides sedavõrd palju, et korrektseid ja statistiliselt põhjendatud normsuuruseid kihtidele arvutamiseks leida ei ole võimalik ja see ei ole standardiga EVS-EN 1997-1 ka lubatud.

Näiteks muutub kihi 5 looduslik veesisaldus 29...86,6% vahemikus, mis esindab savi alates voolavast konsistentsist kuni kõva või poolkõva konsistentsini. Väiksema veesisaldusega savis moodustab (täidab) pinnaseskelett 56% mahust, suurema veesisaldusega savis aga vaid 30%. On selge, et nii tugevuse kui ka kokkusurutavuse osas erinevad kirjeldatud veesisaldusega pinnased oluliselt – nihketugevuse ja kokku surutavust iseloomustavate parameetrite erinevus on 10...20 kordne.

Samuti on selge, et kiht 6 veesisaldus 10,5...17,8% ei iseloomusta viirsavi, vaid selle all lasuvat moreeni.

Selleks, et teha vajalikke stabiilsuse ja vajumise arvutusi koostati suru-löökpenetratsiooni katsete ja laboris määratud veesisalduse alusel uus pinnaste arvutusmudel, kus kihid 5 ja 6 jagati järgmisteks kihtideks:

Voolav savi

- Veesisaldus 70,4...86,6% (keskmine 78,4%), voolavuspiir 86,5% ja platsuspiir 33,6%.
- Poorsustegur 2,15, poorsus 68,3%, mahukaal 15,3 kN/m³.
- Dreenimata nihketugevus $C_u = 10$ kPa.
- Kompressiooniindeks $C_c = 1,33$, dekompressiooniindeks $C_r = 0,09$, ületihenemismäär 50 kPa või OCR = 2, konsolidatsioonimoodul $c_v = 0,35$ m²/aastas.
- Eritakistus $q_c < 0,1...0,2$ MPa.

Pehme savi

- Veesisaldus 42,2...65,4% (keskmine 54,8%), voolavuspiir 69,0% ja platsuspiir 33,1%.
- Poorsustegur 1,51, poorsus 60,1%, mahukaal 16,6 kN/m³.
- Dreenimata nihketugevus $C_u = 15$ kPa.
- Kompressiooniindeks $C_c = 0,79$, dekompressiooniindeks $C_r = 0,07$, ületihenemismäär 100 kPa või OCR = 2, konsolidatsioonimoodul $c_v = 0,74$ m²/aastas.
- Eritakistus $q_c = 0,2...0,5$ MPa.

Plastne savi

- Veesisaldus 29,0...44,5% (keskmine 36,5%), voolavuspiir 72,8% ja platsuspiir 32,7%.
- Poorsustegur 1,0, poorsus 50%, mahukaal 18,4 kN/m³.
- Dreenimata nihketugevus $C_u = 35$ kPa.
- Kompressiooniindeks $C_c = 0,47$, dekompressiooniindeks $C_r = 0,04$, ületihenemismäär 250 kPa või OCR = 10, konsolidatsioonimoodul $c_v = 0,62$ m²/aastas.
- Eritakistus $q_c = 0,5...2$ MPa.

Moreen

- Kihi 6 alumine osa, kus suru-löökpeneratsiooni eritakistus ületas 2 MPa või oli vaja üle minna surumiselt löökidele.
- Elatusmoodul $E = 30 \text{ MPa}$, mahukaal 22 kN/m^3 , sisehõõrdenurk $\phi = 38^\circ$ ja nidusus $c = 15 \text{ kPa}$.

Sellise liigendamise sai läbi viia vaid uuringukohtades, kus olid tehtud suru-lööpenetratsiooni katsed (kokku 23 asukohas) ja kõigis neis asukohtades tehti ka stabiilsuse ja vajumise arvutused. Arvutustel kasutatud pinnasekihtide paksused on esitatud stabiilsuse kontrollarvutuste joonistel, kus on tabelina toodud ka pinnasekihtide normsuurused.

Uuringutel [1] võetud monoliitproovid on kõik võetud savi murenemiskoorikust, voolavast ja pehme konsistentsiga savist monoliitproove ei ole ja nende kihtide kokkusurutavust katseliselt määratud ei ole. Kasutasime Pärnu maakonna viirsavide katseandmete alusel (ligi 300 kompressiooniteimi) koostatud tugevuse- ja kokkusurutavuse mudelit, mille abil leidsime kokkusurutavust iseloomustavad suurused arvutusmudelisse. Vastavad arvsuurused on toodud tabeline vajumisarvutuse joonistel.

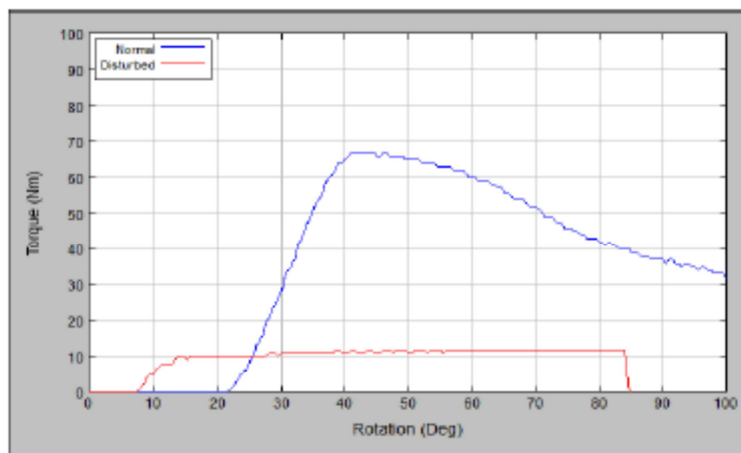
Uuringute aruandes [1] toodud tiivikatsete juures hakkas silma, et PA-SLP 40 juures tehtud katsete alusel oli voolava savi nihketugevus vaid 1...2 kPa. Sellise üliväikese tugevusega savi Eestis varem uuringutega avastatud ei ole ja kuna voolava savil lasus arvestav 1 m paksune kuivamiskoorik platse savi näol, siis on väga ebatõenäoline sellise merepõhja muda ülemise 10...20 cm iseloomustava tugevusega savi esinemine murenemiskooriku all 1...1,5 m sügavuses. Katseandmete lähemal analüüsil (toodud aruande [1] lisas) selguski, et tiivikkatsetulemuste automatiseeritud interpreteerimisel on seade võtnud hõõrdena liiga suure väärtuse (ilmselt ei ole katse olnud korrektselt üles seatud so. hõõrde mõõtmiseks vajalik lõtk on liiga väike olnud – alla 10°) ja kuna nii on hõõre olnud vaid veidi väiksem, kui mõõdetud maksimaalne tugevus, siis on lahutamistehe andnudki üliväikese dreanimata nihketugevuse väärtuse (vt. Joonised 7.1 ja 7.2). Katsetulemusi üle arvutades saadi nihketugevuseks siiski $C_u = 10...12 \text{ kPa}$ ka TK40 asukohas.

Kohati esines ka liiva, mille normsuurustena kasutati arvutustes – elatusmoodul $E = 12 \text{ MPa}$, mahukaal 20 kN/m^3 , sisehõõrdenurk $\phi = 35^\circ$ ja nidusus $c = 5 \text{ kPa}$.

Mulde normsuuruseks võeti mahukaal 22 kN/m^3 , sisehõõrdenurk $\phi = 35^\circ$ ja nidusus $c = 5 \text{ kPa}$ ja asfaldile mahukaal 20 kN/m^3 , ühetelgne survetugevus 4 MPa (nihketugevus $C_u = 2 \text{ MPa}$).

Shear strength measurement

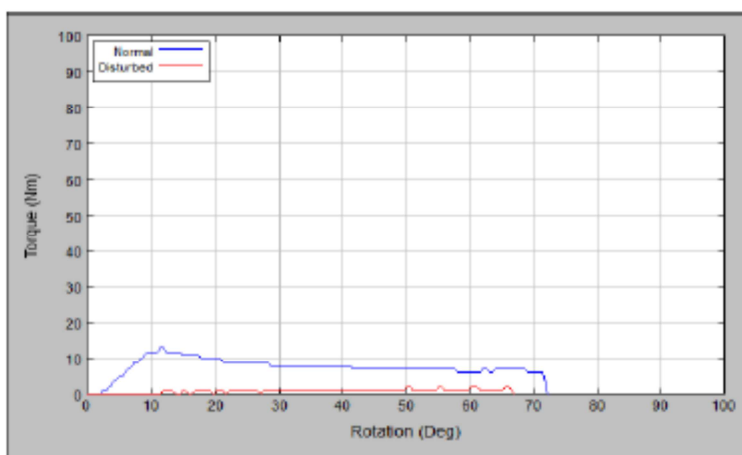
Job number: 00666 GE-2210
Point number: 00031 TK40
Operator: 010
Date: 22.12.2016
Speed: 12 degree/min.
Depth: 50 - 1 0,5 m
Wing: 65x130
Shear strength: 67.00 kN/m² (Normal)
Friction: 0 Nm Max: 67 Nm End: 12 Nm
Shear strength: 2.00 kN/m² (Disturbed)
Friction: 10 Nm Max: 12 Nm End: 12 Nm



Joonis 7.1. TK40 sügavus 0,5 m kuivamiskoorikus. Katse on korrektselt üles seatud, varda hõõret mõõdetakse ca 20° jooksul ja see on 0 Nm.

Shear strength measurement

Job number: 00666 GE-2210
Point number: 00031 TK40
Operator: 010
Date: 22.12.2016
Speed: 12 degree/min.
Depth: 150 - 1 1,5 m
Wing: 65x130
Shear strength: 2.00 kN/m² (Normal)
Friction: 11 Nm Max: 13 Nm End: 6 Nm
Shear strength: 1.00 kN/m² (Disturbed)
Friction: 1 Nm Max: 2 Nm End: 1 Nm



Joonis 7.2. TK40 sügavus 1,5 m voolavas savis. Katse ei ole korrektselt üles seatud, varda hõõret mõõdetakse vaid ca 2° jooksul ja seade võtab hõõrde 10° juures võrdseks 11 Nm. Tulemusena arvutab seade üliväikese nihketugevuse 2 kPa. Nagu katse kuju ja ka punase graafikuga tähistatud jääktugevuse mõõtmine näitab, ei saa hõõre olla suurem kui 1 Nm.

9.2. Arvutusmetoodika

9.2.1. Stabiilsusarvutuste metoodika

Vastavalt EVS-EN 1997-1:2006 soovitudele rakendatakse pikaajalistes stabiilsusarvutustes (STR) ja (GEO) arvutusvarianti 1 kombinatsiooniga 2 (Lisa NA „Eesti standardi rahvuslik lisa“ NA 2.4.7.3.4.1). Osavaruteguritena rakendatakse sama teatmelisa tabelites NA A.3 ja NA A.4 toodud osavarutegurite γ_E ja γ_M kombinatsiooni 2. Vastavalt EVS-EN 1997-1:2006 p.2.4.7.3.1 peab piiriseisundi (STR ja GEO) käsitlemisel kontrollima, et $E_d \leq R_d$ ($F > 1$). Stabiilseks loetakse nõlva, millel see tingimus on täidetud.

Stabiilsust on võimalik kontrollida mitme algoritmi alusel. Erinevate algoritmide vahe seisneb lihketsoonis eneses toimuvate protsesside kirjeldamises nagu lihkuvate pinnasesektsioonide vastastikune mõju jne. Arvutused tehti programmiga SLIDE (Rocscience Inc., Kanada). Arvutusmeetodid – Janbu corrected ja Bishop. Tulemustes olulisi erinevusi ei olnud ja visualiseerimine on tehtud Bishop arvutustulemustele.

Liikluskoormuseks võeti 25 kN/m^2 muutuvkoormusena rakendades normidekohaseid varutegureid.

9.2.2. Vajumisarvutuse metoodika

Metoodika üksikasjaline kirjeldus on toodud „ET-2 0113-0279. Geotehniline projekteerimine. Madalvundamentide projekteerimine. Abimaterjal EPN-EVN 7.1 kasutajale EPN 7/AM-1.“ punkt 8.2.4 (Summeerimismeetod kompressiooniindeksi kasutamise korral).

Arvutamisel kasutati tarkvara PHASE2 (Rocscience Inc., Kanada). Vajumine arvutati ristlõikele 21 punktis, millest 15 iseloomustavad mulde vajumist sõiduradade osas ja kuus nõlvadel. Vajumine on suurim tee teljel ja väheneb servade suunas. Vajumiserinevust ristlõikel iseloomustati telje ja sõiduaja serva vajumise erinevusena. Vajumiserinevust pikilõikel iseloomustati erinevate uuringupunktide asukohas tehtud vajumise erinevusena.

9.3. Arvutuste tulemused

9.3.1. Vajumise prognoosi tulemused

Kontrollarvutused 23 asukohas koos vastava arvutuse juures kasutatud normsuurustega on toodud Lisas 2.

Tulemused on kokkuvõtlikult esitatud Tabelis 7.1.

asukoht	2+1 sõidurada mulle				2+2 sõidurada			
	suurim	servades		erinevus	suurim	servades		erinevus
	m	m	m	m	m	m	m	m
PA2	0,0489	0,0434	0,0439	0,0055	0,0508	0,0491	0,0479	0,0029
PA4	0,0501	0,0445	0,0452	0,0056	0,0518	0,0490	0,0490	0,0028
PA6	0,0503	0,0447	0,0454	0,0056	0,0521	0,0492	0,0493	0,0028
PA8	0,0502	0,0446	0,0453	0,0056	0,0519	0,0491	0,0491	0,0028
PA10	0,0173	0,0131	0,0145	0,0042	0,0187	0,0150	0,0150	0,0037
PA12	0,0173	0,0131	0,0145	0,0042	0,0187	0,0150	0,0150	0,0037
PA14	0,0173	0,0131	0,0145	0,0042	0,0187	0,0150	0,0150	0,0037
PA16	0,0205	0,0161	0,0172	0,0044	0,0226	0,0186	0,0187	0,0039
PA18	0,0503	0,0447	0,0454	0,0056	0,0521	0,0493	0,0492	0,0029
PA20	0,0488	0,0434	0,0439	0,0054	0,0508	0,0478	0,0478	0,0030
PA22	0,0490	0,0435	0,0441	0,0055	0,0509	0,0480	0,0480	0,0029
PA24	0,0444	0,0369	0,0369	0,0075	0,0480	0,0438	0,0438	0,0042
PA26	0,0483	0,0429	0,0434	0,0054	0,0504	0,0474	0,0474	0,0030
PA28	0,0520	0,0464	0,0468	0,0056	0,0540	0,0511	0,0510	0,0030
PA30	0,0445	0,0371	0,0371	0,0074	0,0483	0,0440	0,0440	0,0043
PA32	0,0485	0,0431	0,0436	0,0054	0,0505	0,0474	0,0475	0,0030
PA34	0,0483	0,0430	0,0435	0,0053	0,0505	0,0475	0,0474	0,0031
PA36	0,0494	0,0438	0,0445	0,0056	0,0512	0,0484	0,0484	0,0028
PA38	0,0491	0,0435	0,0441	0,0056	0,0509	0,0493	0,0492	0,0017
PA40	0,0483	0,0431	0,0435	0,0052	0,0506	0,0475	0,0475	0,0031
erinevus pikilõikes	0,0347	0,0333	0,0323		0,0353	0,0361	0,0360	

Mulde vajumiseks mulde alla jäävate looduslike pinnasekihtide arvelt prognoositi 1,7...2 cm aladel, kus nõrku savipinnaseid ei esine ja 4,5...5,5 cm aladel, kus esinevad nõrgad savipinnased. Ristlõike vajumiserinevused jäävad 3...6 mm piiridesse ja pikilõike suurimad vajumiserinevused esinevad üleminekul moreeni alalt savide alale ja ulatuvad 3,5 cm-ni. Kõik need arvutatud vajumised ja vajumiserinevused jäävad maksimaalselt lubatud väärtustest väiksemaks.

Vajumised jäävad väikeseks kahel põhjusel:

1. Savikihtide paksus on suhteliselt väike (maksimaalselt 3,5 m);
2. Savikihid on üle-tihenenud esiteks kuivamise tagajärjel (plastne ja pehme savi) ja teiseks pikaajalise sekundaarse konsolidatsioonitagajärjel (voolav savi).

Projekteeritud mulle ei ületa maksimaalse kõrguse korral üle-tihenemise survet ja savi vajumine on elastse iseloomuga, see tähendab et toimub ehitamise ajal. Seetõttu ei ole otsest vajadust kohe 2+2 mullet välja ehitada, selle võib (kui muud kaalutlused seda lubavad) välja ehitada ka hiljem vastavalt vajadusele.

Käesolev arvutus ei käsitle mulde enda tihenemist paari esimese aasta jooksul.

Käesolev arvutus ei käsitle sildade ja viaduktide rampe, kus mulde kõrgus ületab käesoleva analüüsi mulde maksimaalset kõrgust. Rampide vajumise prognoos tuleb teha eraldi arvutustena.

Madalamad kui 1,75 m mulded vajuvad veel vähem.

9.3.2. Stabiilsuse kontrollarvutuste tulemused

Kontrollarvutused 23 asukohas koos vastava arvutuse juures kasutatud normsuurustega on toodud Lisas 3.

Tulemused on kokkuvõtlikult esitatud Tabelis 7.2.

asukoht	stabiilsusvaru, vajalik on $F > 1$	
	2+1	2+2
PA2	1,753	1,973
PA4	1,753	1,973
PA6	1,753	1,973
PA8	1,753	1,973
PA10	1,753	1,973
PA12	1,753	1,973
PA14	1,753	1,973
PA16	1,142	1,254
PA18	1,753	1,973
PA20	1,753	1,973
PA22	1,753	1,973
PA24	1,090	1,243
PA26	1,152	1,295
PA28	1,154	1,324
PA30	0,765	0,890
PA32	1,197	1,344
PA34	1,189	1,333
PA36	1,444	1,724
PA38	1,337	1,520
PA40	0,981	1,001

Mulde stabiilsus on valdavalt tagatud. Erandi moodustavad piirkonnad PA30 ja PA40 ümbruses, kus savi kuivamiskoorik on õhuke, savi kogupaksus suur ja savi alumise osa moodustab voolavsave.

Nendes lõikudes tuleb projekteerida mulle laugem, nõlvus 1:1,5 asendada nõlvusega 1:2.

Laiema mulde pikkus määrata täiendavate geotehniliste uuringutega PA30 ja PA40 ümber. Uuringute samm 25 m ja uuringud läbi viia surupenetratsioonikatsete- või tiivikkatsetena. Uuringute tulemusel määrata laugema nõlva vajadus tee trassil arvutustega.

Stabiilsus ei erine 2+1 ja 2+2 ristlõikel, seega ei eksisteeri vajadust koheseks 2+2 ristlõike välja ehitamiseks.

Käesolev arvutus ei käsitle sildade ja viaduktide rampe, kus mulde kõrgus ületab käesoleva analüüsi mulde maksimaalset kõrgust. Rampide stabiilsuse kontrollarvutus tuleb teha eraldi arvutustena.

Madalamate mullete stabiilsus on tagatud 1:1,5 nõlvusega, kui mulde kõrgus on alla 1 m. Vastasel juhul on otstarbekas kasutada mitte järsemat kui 1:2 nõlvust.

Nõrkade aluspinnaste puhul on vajalikud teostada uuringud sarnases mahus nagu Are ümbersõidu puhul. Uuringute alusel tehakse vajalikud arvutused ning need määravad lahendused. Ka käesoleval puhul võib lokaalselt vaja minna erilahendusi nõrkadel pinnastel ehitades – näiteks kui 100 m lõik paari kilomeetrisest lõigust nõuab laugemat nõlva, ei ole mõtet kogu lõiku täies ulatuses laugemana ehitada.

10. TEEKONSTRUKTSIOONI LAIENDAMISE VÕIMALUSED

10.1. Asfaltbetoonkatte laiendamise tehnoloogia

Asfaltkatte laiendamine 2+1 ristlõikelt 2+2 ristlõikele. Täna sed teadmised selles osas on valdavalt teoreetilised, sest võimalik on võrdlusena kasutada 1+1 ristlõikega teede laiendamist 2+1 ristlõikele. Praktilised kogemused on harilike maanteed õgvendamistest (kurvi raadiuse suurendamine) ja tee laiendamistest, mida on teostatud viimase 50 aasta jooksul suhteliselt suures mahus ja võib hinnata ka, et edukalt. Siiski, tänaste rekonstrueerimistöõde juures esineb küllaltki tihti ebaühtlaseid vajumeid, mis viitavad mulde ristlõikes kasutatud erinevatele materjalidele, eriti ohtlikuks on osutunud olukorrad, kus teekonstruktsiooni laiendamisel on muldkeha alla jäetud kasvupinnas ning laiendus on teostatud juhuslikke (kontrollimata omadustega) materjale kasutades. Täna on laiendamisel mõistlik esiteks teostada aluspinnase eemaldamine ja stabiliseerimine kogu laiuses ning seejärel kaitsta stabiliseeritud alus samatüübilise täitepinnasega, mida tuleks kasutada ka laienduse väljaehitamisel. Valik, kas kujundada nõlv kaldega 1:2 kattes stabiliseeritud aluspinnase täitepinnasega, mis võimaldab teenindusliku transpordi liiklust, või sama täitematerjali seguga, mida kasutatakse mulde ehitamisel, või kasutada laugemat nõlvakallet sama täitematerjaliga.

2+2 ristlõike väljaehitamisel tuleb asendada kaitsekihi ülaosa (tõenäoliselt 10-15 cm ulatuses), sest see saab 2+1 ristlõikenä kaitsemata olukorras saastatud kasvupinnase ja peenosistega. Lisaks on otstarbekas laienduse teostamisel kasutada geosüntee, et vähendada riske ebaühtlaseks vajumiks laienduse osas. Laiendusprotsess tuleb teostada astmeliselt, mis võimaldab tihendada kiht-kihilt lisatava konstruktsiooni koos olemasoleva muldkehaga. On ilmne, et varasemate laienduste teostamisel on just see astmeline laiendusprotsess teostamata või tehtud tehnoloogilisi nõudeid järgimata.

Erisus betoontee laiendamise protsessiga võrreldes seisneb võimaluses pärast laienduse teostamist järgmise kulumiskihhi uuendamise protsessis kasutada tasandusfreesimist ja vajadusel tasanduskihti, betoontee laiendusel see võimalus puudub, võimalikud esmaselt paigaldatava kihhi vajumid ei ole korrigeeritavad.

10.2. Betoonkatte laiendamise tehnoloogia

Betoonkatteid on võimalik ehitada mitme erineva tehnoloogia alusel:

- Armeerimata betoonkate madalama tugevusega betoonist, millele paigaldatakse vähemalt üks kiht peale kulumiskihhi ja tasandamise funktsioonis. Madala survetugevusega materjali kivistumisel (kuivamisel) tekib palju mikropragusid ja materjal ei moodusta suuremat monoliiti, mistõttu puudub ka vajadus armeerimiseks. Siia kategooriasse võib liigitada ka nn teerullibetooni, mida paigaldatakse asfaldilaoturiga ja tihendatakse asfaldi tihendamiseks kasutatavate pneumorullidega. Teerullibetooni tüüpi lahendust võib käsitleda ka lähedasena tsementstabiliseerimisele.

- Armeerimata, kuid vuukidega lahendus, mis on enamlevinud ja mille korral paigaldatakse vardad alusele enne betooni valamist. Pärast valatud betooni tahenemist lõigatakse betoonile varraste asukohas vuugid, mis ulatuvad üldjuhul 30% betooni sügavusse. Kivinemisprotsessi edasisel jätkumisel toimub betooni mahukahanemine ning formeeruvad betoonplaadid, mille vuugi ülaosa on lõigatud, alaosa on ebakorrapärane, mille ulatuses betoonplaadid nakkuvad ebatasasustega. Reeglina paiknevad vuugid plaadi alaosas. Pikivuukide vahekaugus on meie kliimavööndis 4...6 meetrit. Põikvuugid kujundatakse sõltuvalt teekatte laiuselt, reeglina katab üks plaat sõiduraja. Betoonkatte ehitusel kasutatakse kahte tüüpi vuuke, eelkirjeldatud vuugitüüp on paisumise ja kahanemise kompenseerimiseks, kuid teist tüüpi vuuke kasutatakse piki teed tööfrondi eristamiseks, kui betoonitööde teostamises on vaheajad (paigaldus ei toimu 24/7). Sellise vuugi korral on betoonplaadi pind sile ja plaatide omavahelise liikumise peavad takistama ainult vardad.
 - Mõlemal juhul täidetakse vuugid kas spetsiaalse mastiksi või kummist ehk polümeerist valmistatud spetsiaaltihenditega. Et mastiksid ja tihendid vananevad, tuleb need teatud aja möödudes asendada. Ka Öismäe tee katselõik on tehtud vuugivarrastega lahendusega.
- Pidevarmeeritud betoon, mida propageerib ka Austraalia teedeinsener Arvo Tinni, on kahtlemata kallim ja probleemsem võimalike defektide kõrvaldamise suhtes.

Eeldame, et tee liigiks on valitud vuukidega armeerimata betoon. Selle hilisem laiendamine toob endaga kaasa terve rea probleeme:

- Lisaraja ühenduses võtavad pinged vastu ainult ühendusvardad, sest varasema ja hilisema betoonivalu külgpinnad ei moodusta haarduvaid pindu.
- Lisatava ala muldkeha võib koormuse all vajuda erinevalt, lisaks varem ehitatu vajumile, mille tulemusena on rikutud tee ristprofiil. See võib osutuda kriitiliseks vee liikumisel katte pinnal.
- Lisatava raja ja varem rajatud raja vahelise tihendi seisund on kriitilise tähtsusega, sest vahekoht võib kujuneda „Eestimaa talve“ korral soolvee kattekonstruktsiooni sattumise tõenäoliseks kanaliks. Korraga valatud konstruktsiooni puhul on pragude ulatus vuugis paremini kontrollitav ehk väike ja ei lase läbi arvestatavat veekogust. Vee sattumine vuugi kaudu betoonplaadi alla toob kaasa plaatide omavahelise liikumise (pumpamise efekt).

Maailmapraktikas esineb küll sellist lahendust, mille korral olemasolevale asfaltkatele lisatakse parempoolne sõidurada raskeliiklusele, mis valmistatakse betoonist. Probleemseks kujuneb sellisel juhul üleminek asfaltkattelt betoonile, kuid need teemad on lahendatavad. Betoonteele betoonist lisasõiduraja lisamine (betoontee laiendamine) on küll võimalik, kuid teadaolevalt ei ole sellist meetodit Skandinaavias kasutatud. Eksperdid on veendumusel, et vähemalt väga raske, kui mitte võimatu, on sellisel juhul tagada nõutavat kvaliteeti. Ühenduskohta ei saa ehitada sellise kvaliteediga, et see vastaks betoontee ehitamise nõuetele.

11. OBJEKTI ELUKAARE KULUDE ANALÜÜS

11.1. Üldist

Vastavalt rahvusvahelisele käsitlusele mõistetakse elukaare kulude analüüsi (LCCA – *Life-Cycle Cost Analysis*) all meetodit, mis tugineb põhjendatud majandusanalüüsi põhimõtetele ja millega analüüsitakse alternatiivsete investearingute variantide majanduslikku efektiivsust pikemaajalisel perioodil. Elukaare kulude (LCC) analüüsi periood on reeglina 30-40 aastat ja selle majanduslikeks väljunditeks on tulu-kulu suhe (BCR – *benefit-cost ratio*), piirdiskontomäär (IRR – *Internal Rate of Return*) ja ajaldatud nüüdisväärtus (NPV – *Net Present Value*).²⁶ Klassikalises mõttes võib elukaare kulude analüüsi käsitleda ka kui tasuvusanalüüsi. LCC analüüsi teostamisel tuleb arvesse võtta nii teede haldaja kulud (ehitus/remont/hooldus) kui ka teekasutajate kulud (sõidukikulud, ajakulud ning liiklusõnnetuste kulud) objekti eluaja (elukaare) jooksul.

Elukaare kulude analüüsi tegemisel tee-ehitusobjektidele on eelduseks andmed liikluse koosseisu ja liiklusprognoosi kohta. Kuna antud projekti raames võrreldud erinevate variantide tehnilised lahendused ei avalda otseselt mõju liikluse muutumisele (liiklejate arv ning koosseis), siis erinevus liikluse tegeliku muutuse ja prognoositu vahel objekti elukaare jooksul mõjutab kõiki võrreldud alternatiive sarnaselt, ehk liiklussageduse muutumine on konstant.

Elukaare kulude leidmisel on arvestatud konstruktsiooni 2+1 trassi laiuses, kuna geotehnilist vajadust kohe 2+2 lahenduse väljaehitamiseks ei ole ning lisaks puudub ka info, mis aastaks võimalik laienduse ehitamine (see aga mõjutab oluliselt objekti LCC-analüüsi lõpptulemust) on kavandatud.

Lähtudes käesoleva töö II etapi lähteülesandes toodust on antud projekti raames Are ümbersõidu ehitamise LCC-analüüsiga käsitletud ka betoonkatendiga stsenaariumit. LCC-analüüsis on käsitletud järgmiseid alternatiivseid variante:

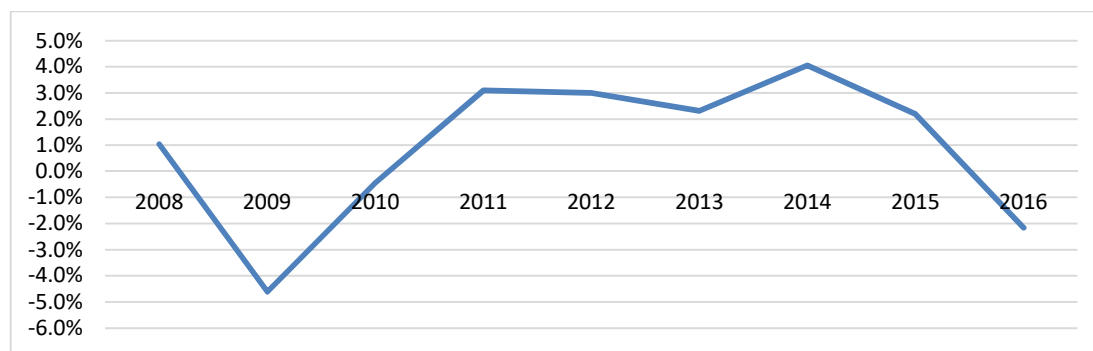
- Olemasolev olukord, ehk nn. baaslahendus (*base alternative*), millega on teisi variante võrreldud;
- Variant 1 (K_MULLE) – kõrge muldega lahendus (var_1);
- Variant 2 (M_MULLE) – madala muldega lahendus (var_2);
- Variant 3 (M_BET) – madala muldega tsementbetoonkatendiga lahendus (var_3);

Elukaare kulude analüüsi tulemuste tõlgendamisel peab arvestama analüüsi teostamise hetkel kasutada olevate lähteandmete tasemega, nende usaldusväärsusega ja neid andmeid toetavate erinevate uuringute vähesusega. Eriti puudutab see tsementbetoonkatendiga varianti ja selle käitumist ning teekatte ja katendi seisukorra muutumist analüüsi perioodil meie kliimavöötmel tingimustes.

²⁶ Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design. FHWA-SA-98-079

11.2. Teede ehitus- ja hooldustööde rakendamine ja kulud

Are ümbersõidu ehitamise kulude kalkulatsioon on toodud aruande punktis 5.4. Arvestatud on ainult teekonstruktsiooni kihtide ehitamise kulude, arvesse ei ole võetud muid võimalikke kulusid (üldised kulud, viaduktid, sillad, liikluskorraldusvahendid, haljastus, jne). Objekti ekspluatatsiooni aegsed remondi- ja hooldustööde maksumused põhinevad riigimaanteedel teostatud remondi- ja hooldustööde hindadel. Neid hindu korrigeeritakse regulaarselt Statistikaameti²⁷ poolt avaldatud maanteede hooldustööde hinnaindeksiga (joonis 11.1).



Joonis 11.1. Maanteede hooldustööde hinnaindeksi muutus võrreldes eelmise aastaga

Kokkuvõtte LCC-analüüsis kasutatud teede ehitus-, rekonstrueerimis- ja hooldustöödest, nende teostamise tingimustest ning maksumustest on toodud tabelis 11.1.

Tabel 11.1. Teehooldustööd ja nende teostamise tingimused analüüsitava teedevõrgul

Töö nimetus	Variant	Töö teostamise tingimus	Ühik	Töö maksumus, km-ta / km-ga	Märkused
Ümbersõidu ehitamine (sisaldab ainult teekonstruktsiooni ehitamisega seotud töid)	Var_1 K_MULLE	Teostatakse analüüsi 1 aastal (maksumuse kalkulatsioon vt tabel ptk X.x)	euro/km	1 373 950 / 1 648 740	-
	Var_2 M_MULLE		euro/km	795 000 / 954 000	
	Var_3 M_BET		euro/km	1 708 050 / 2 049 660	
Teekonstruktsiooni rekonstrueerimine	Var_1 K_MULLE	Teostatakse analüüsi 20-ndal aastal	euro/m ²	28,3 / 34,0	-
	Var_2 M_MULLE				
Olemasoleva teekatte freesimine ja uue õhukese SMA kihi laotamine	Var_1 K_MULLE	Teostatakse iga 7-s aasta	euro/m ²	11,3 / 13,5	Eelnev ol.ol. teekatte freesimine
	Var_2 M_MULLE				
	Var_3 M_BET	Teostatakse iga 11-s aasta	euro/m ²	11,3 / 13,5	

²⁷ www.stat.ee

Töö nimetus	Variant	Töö teostamise tingimus	Ühik	Töö maksumus, km-ta / km-ga	Märkused
Aukude lappimine	Kõik variandid	Perioodiline iga-aastane töö	euro/m ²	23,12 / 27,74	-
Pragude täitmine	Kõik variandid	Perioodiline iga-aastane töö	euro/m ²	7,51 / 9,02	-
Muud iga-aastased hooldustööd ²⁸	Kõik variandid	Perioodiline iga-aastane töö	euro/km	3265 / 3918	-

11.3. LCC-analüüsi tulemused

LCC-analüüsi teostamise eesmärgiks on välja selgitada alternatiivsete variantide majanduslik mõju ühiskonnale selle eeldatava eluea jooksul, leidmaks majanduslikult mõistlikum variant. Vastavalt antud töö lähteülesandele on analüüsiperioodiks 30 aastat. Analüüsi algaastaks on 2017 ning Are ümbersõidu ehitusajaks on arvestatud 1 aasta ja ehitus toimub 2018 aastal. Analüüsis kasutatud diskontomäär²⁹ on 4.0 %.

Are ümbersõidu ehitustööde jääkväärtuseks analüüsiperioodi lõpus on asfaltbetoonist katendiga variantide puhul arvestatud 40%, eeldusel, et ehitatud Are ümbersõidu katendikonstruktsioon rekonstrueeritakse 20-ndal aastal.

Tsementbetoonkattega lahenduse (var_3 M_BET) puhul on jääkväärtuseks arvestatud 30%. Lähtutud on 2013 aastal Maanteeameti poolt tellitud uurimistöös toodud andmetest, kus oli arvestatud 40 aastase betoonkatendi jääkväärtuseks 25%. Võrdlusena võib välja tuua Soome analoogilised arvutusmeetodid, kus betoonkatendi jääkväärtuseks pärast 40 ekspluatatsiooniaastat arvestatakse koguni 50%.

Betoonkattega innovatiivse lahenduse (var_3 M_BET) puhul on jääkväärtuseks arvestatud 30%. Lähtutud on 2013 aastal Maanteeameti poolt tellitud uurimistöös³⁰ toodud andmetest, kus oli arvestatud 40 aastase betoonkatendi jääkväärtuseks 25%. Võrdlusena võib välja tuua Soome analoogilised arvutusmeetodid, kus betoonkatendi jääkväärtuseks pärast 40 ekspluatatsiooniaastat arvestatakse koguni 50%.

LCC-analüüsi tulemused kogu projekti mõjuala ulatuses võrreldes praeguse olukorraga (*base alternative*) on toodud tabelis 11.2. Väljavõtte HDM-4 majandusanalüüsi kokkuvõttest on toodud joonisel 11.1.

²⁸ Maanteeameti aastaraamat 2012

²⁹ Komisjoni delegeeritud määrus (EL) nr 480/2014, Artikkel 19 Rahavoogude diskonteerimine

³⁰ „Eesti tingimustele vastava betoonkatendi projekteerimine ja selle tasuvusanalüüs“, Ramboll Eesti AS, Tallinn 2013

Tabel 11.2. LCC-analüüsi tulemused (ühikhinnad km-ta), variantide võrdlus baas alternatiiviga, arvestades kogu projekti mõjuala

Variant	Kulude nüüdisväärtus, milj euro		Tulude nüüdisväärtus, milj euro		
	Kapitali kulud*	Perioodilised (hooldus) kulud	Teekasutaja	Sõiduaeg	Liiklus-õnnetused
Var_1 K_MULLE	8,07	3,27	22,10	8,38	13,31
Var_2 M_MULLE	5,12	3,27	22,10	8,38	13,31
Var_3 M_BET	9,06	2,69	22,03	8,37	13,31
Variant	Kulude ajaldatud nüüdisväärtus (NPV of costs), milj. euro	Tulude ajaldatud nüüdisväärtus (NPV of benefits), milj. euro	Ajaldatud nüüdisväärtus (NPV), milj. euro	Piirdiskonto määr (EIRR), %	Tulu/kulu suhe
Var_1 K_MULLE	11,34	43,79	32,45	26,4%	3,9
Var_2 M_MULLE	8,39	43,79	35,40	44,3%	5,2
Var_3 M_BET	11,75	43,71	31,96	22,0%	3,7

* - kapitalikulud sisaldavad ainult teekonstruktsiooni ja katendi ehitamisega seotud kulusid

Analüüsi tulemustes toodud suur tulu/kulu suhe on tingitud sellest, et Are ümbersõidu ehitusmaksumuses on antud hetkel arvestatud ainult teekonstruktsiooni ja katendi ehitamise kuludega. Võimalike viaduktide, sildade ja muude oluliste rajatiste ehituskulud ei ole teada ja need täpsustuvad alles projekteerimise faasis. Seetõttu ei ole neid analüüsi praeguses staadiumis arvesse võetud.

Kuna aga erinevad rajatised ja nendega seotud kulud on erinevate variantide puhul samad, siis võib neid kulusid käsitleda konstantsete väärtustena, mis on sarnased kõigi variantide puhul ja seetõttu ei takista need ka variantide omavahelist võrdlemist.

LCC-analüüsi tulemused näitavad, et madala muldega variant on majanduslikult tasuvaim, andes 30 aastase analüüsiperioodi jooksul kõrge muldega ja betoonkatendiga lahendusega võrreldes ca 10% suurema ajaldatud nüüdisväärtuse (NPV).

Põhiline sääst madala muldega variandi puhul saadakse kapitalikuludest, kuna selle ehituskulud on ca poole väiksemad võrreldes teiste alternatiividega.

Ehitatud uue teelõigu katte remondi- ja hooldustööd on analüüsi perioodile planeeritud nii, et kõigi analüüsitud variantide puhul ei ületa analüüsiperioodil teekatte tasasuse IRI väärtus 2,0 mm/m (joonis 11.3), kuna teekatet uuendatakse regulaarselt ja teekatte tasasus ei jõua uuenduste vahelise aja jooksul kuidagi selle väärtuseni areneda.

Roopa sügavus on teekatte seisukorra see parameeter, millest on tingitud Are ümbersõidul regulaarsed teekatte uuendustööd. Roopa sügavuse eeldatav muutumine Are ümbersõidu teelõigul analüüsitud perioodil erinevate variantide puhul on toodud joonisel 11.4.

HDM - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

Economic Analysis Summary

Study Name: Mnt 4 Are YS 2+1_2016_v3

Run Date: 30-09-2017

Currency: Euro (millions)

Discount: 4.00%

Analysis Mode: Analysis-by-Project

Alternative: Construction of Are bypass_var1 vs Alternative: Base alternative

No Sensitivity Analysis Conducted

	Increase in Road Agency Costs			Savings in MT VOC	Savings in MT Travel Time Costs	Savings in NMT Travel & Operating Costs	Reduction in Accident Costs	Net Social / Exogenous Benefits	Net Economic Benefits (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	7.81	6.13	0.00	41.52	15.66	0.00	24.70	0.00	67.94
Discounted	8.07	3.27	0.00	22.10	8.38	0.00	13.31	0.00	32.44

Economic Internal Rate of Return (EIRR) = 26.4% (No. of solutions = 1)

Alternative: Construction of Are bypass_var2 vs Alternative: Base alternative

No Sensitivity Analysis Conducted

	Increase in Road Agency Costs			Savings in MT VOC	Savings in MT Travel Time Costs	Savings in NMT Travel & Operating Costs	Reduction in Accident Costs	Net Social / Exogenous Benefits	Net Economic Benefits (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	5.59	6.13	0.00	41.52	15.66	0.00	24.70	0.00	70.16
Discounted	5.12	3.27	0.00	22.09	8.38	0.00	13.31	0.00	35.38

Economic Internal Rate of Return (EIRR) = 44.3% (No. of solutions = 1)

HDM-4 Version 2.1

Page 1 of 2

HDM - 4 Economic Analysis Summary

Alternative: Construction of Are bypass_var3 vs Alternative: Base alternative

No Sensitivity Analysis Conducted

	Increase in Road Agency Costs			Savings in MT VOC	Savings in MT Travel Time Costs	Savings in NMT Travel & Operating Costs	Reduction in Accident Costs	Net Social / Exogenous Benefits	Net Economic Benefits (NPV)
	Capital	Recurrent	Special						
Undiscounted	7.65	5.17	0.00	41.36	15.65	0.00	24.70	0.00	68.89
Discounted	9.06	2.69	0.00	22.03	8.37	0.00	13.31	0.00	31.97

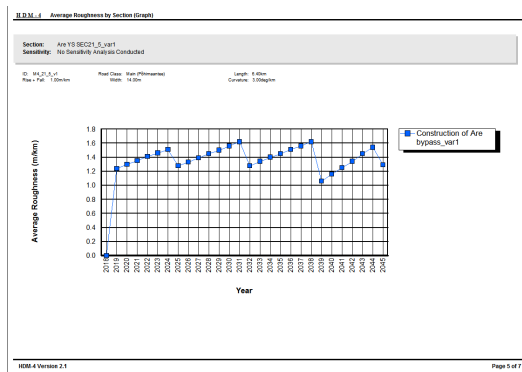
Economic Internal Rate of Return (EIRR) = 22.0% (No. of solutions = 1)

HDM-4 Version 2.1

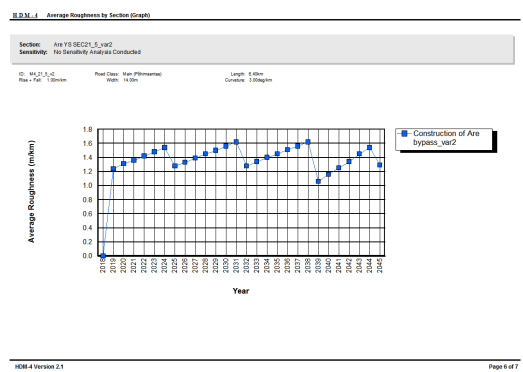
Page 2 of 2

Joonis 11.2. Väljavõte HDM-4 majandusanalüüsi kokkuvõttest

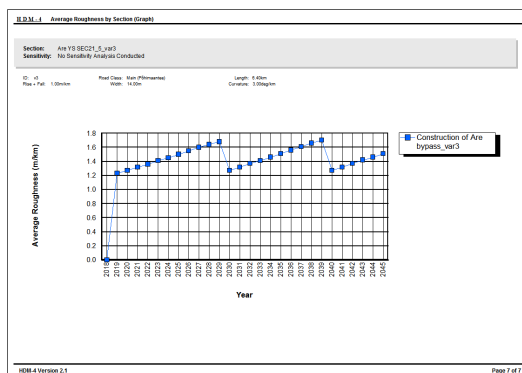
Are ümbersõit var_1 K_MULLE



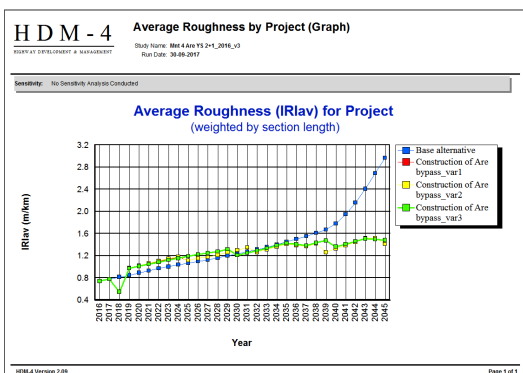
Are ümbersõit var_2 M_MULLE



Are ümbersõit var_3 M_BET

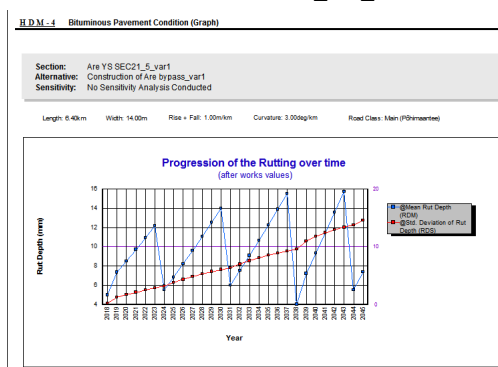


Are ümbersõidu variantide koondvõrdlus

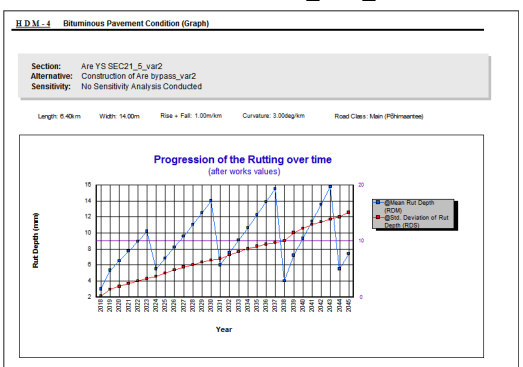


Joonis 11.3. Teekatte tasasuse muutumine Are ümbersõidul erinevate variantide puhul

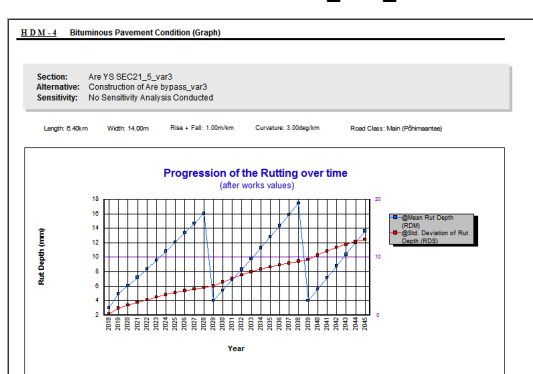
Are ümbersõit var_1 K_MULLE



Are ümbersõit var_2 M_MULLE



Are ümbersõit var_3 M_BET



Joonis 11.4. Roopa sügavuse muutumine Are ümbersõidul analüüsiperioodil

Konkreetselt Are ümbersõidu teelõiguga seotud elukaare kulud ja nende jaotus erinevate analüüsitud variantide osas on toodud allpool tabelites. Tabelites 11.3; 11.5 ja 11.7 on esitatud diskonteerimata kulud ja tabelites 11.4; 11.6 ja 11.8 on esitatud diskonteeritud kulud.

Tabel 11.3. Are ümbersõidu elukaare kulud lahenduse var_1 K_MULLE puhul, diskonteerimata

Aasta	Teehaldaja kulud, miljonit eurot			Teekasutaja kulud, miljonit eurot				LCC kulud kokku, milj/eur
	Investeering	Teehoole	Kokku	Sõiduk	Sõiduaeg	Õnnetused	Kokku	
2018	8.793	0.000	8.793	0.000	0.000	0.000	0.000	8.793
2019	0.000	0.021	0.021	10.904	0.832	0.069	11.806	11.827
2020	0.000	0.021	0.021	11.286	0.859	0.071	12.217	12.237
2021	0.000	0.021	0.021	11.667	0.886	0.074	12.627	12.648
2022	0.000	0.021	0.021	12.049	0.914	0.076	13.038	13.059
2023	0.000	0.021	0.021	12.430	0.941	0.078	13.449	13.470
2024	0.000	1.029	1.029	12.812	0.969	0.080	13.861	14.889
2025	0.000	0.021	0.021	13.179	0.996	0.082	14.257	14.278
2026	0.000	0.021	0.021	13.560	1.023	0.084	14.668	14.688
2027	0.000	0.021	0.021	13.942	1.051	0.086	15.079	15.100
2028	0.000	0.021	0.021	14.323	1.079	0.088	15.491	15.512
2029	0.000	0.021	0.021	14.705	1.107	0.090	15.903	15.924
2030	0.000	0.021	0.021	15.087	1.136	0.092	16.315	16.336
2031	0.000	1.029	1.029	15.361	1.155	0.094	16.610	17.639
2032	0.000	0.021	0.021	15.612	1.174	0.095	16.881	16.902
2033	0.000	0.021	0.021	15.885	1.194	0.097	17.176	17.197
2034	0.000	0.021	0.021	16.160	1.214	0.098	17.472	17.493
2035	0.000	0.021	0.021	16.434	1.234	0.100	17.768	17.789
2036	0.000	0.021	0.021	16.609	1.247	0.101	17.956	17.977
2037	0.000	0.021	0.021	16.784	1.260	0.101	18.145	18.166
2038	2.538	0.021	2.559	16.959	1.272	0.102	18.334	20.893
2039	0.000	0.021	0.021	17.092	1.283	0.103	18.479	18.500
2040	0.000	0.021	0.021	17.270	1.296	0.104	18.670	18.691
2041	0.000	0.021	0.021	17.399	1.306	0.105	18.810	18.830
2042	0.000	0.021	0.021	17.529	1.315	0.106	18.949	18.970
2043	0.000	0.034	0.034	17.660	1.324	0.106	19.090	19.124
2044	0.000	1.029	1.029	17.790	1.333	0.107	19.230	20.259
2045	-3.517	0.021	-3.496	17.896	1.341	0.108	19.345	15.848
Kokku	7.814	3.602	11.416	408.386	30.742	2.496	441.625	453.041
% osa kogu kuludest	1.7%	0.8%	2.5%	90.1%	6.8%	0.6%	97.5%	

Tabel 11.4. Are ümbersõidu elukaare kulud lahenduse var_1 K_MULLE puhul, diskonteeritud

Aasta	Teehaldaja kulud, miljonit eurot			Teekasutaja kulud, miljonit eurot				LCC kulud kokku, milj/eur
	Investeering	Teehoole	Kokku	Sõiduk	Sõiduaeg	Õnnetused	Kokku	
2018	8.130	0.000	8.130	0.000	0.000	0.000	0.000	8.130
2019	0.000	0.019	0.019	9.694	0.740	0.062	10.495	10.514
2020	0.000	0.018	0.018	9.647	0.734	0.061	10.443	10.461
2021	0.000	0.017	0.017	9.590	0.728	0.060	10.379	10.396
2022	0.000	0.017	0.017	9.522	0.722	0.060	10.304	10.321
2023	0.000	0.016	0.016	9.446	0.715	0.059	10.220	10.236
2024	0.000	0.752	0.752	9.362	0.708	0.058	10.128	10.880
2025	0.000	0.015	0.015	9.260	0.700	0.058	10.017	10.031
2026	0.000	0.014	0.014	9.161	0.691	0.057	9.909	9.923
2027	0.000	0.014	0.014	9.056	0.683	0.056	9.795	9.809
2028	0.000	0.013	0.013	8.946	0.674	0.055	9.675	9.689
2029	0.000	0.013	0.013	8.832	0.665	0.054	9.551	9.563
2030	0.000	0.012	0.012	8.712	0.656	0.053	9.421	9.433
2031	0.000	0.571	0.571	8.530	0.642	0.052	9.223	9.794
2032	0.000	0.011	0.011	8.335	0.627	0.051	9.013	9.024
2033	0.000	0.011	0.011	8.155	0.613	0.050	8.818	8.829
2034	0.000	0.010	0.010	7.977	0.599	0.048	8.625	8.635
2035	0.000	0.010	0.010	7.800	0.586	0.047	8.433	8.443
2036	0.000	0.010	0.010	7.580	0.569	0.046	8.195	8.205
2037	0.000	0.009	0.009	7.365	0.553	0.045	7.963	7.972
2038	1.071	0.009	1.080	7.156	0.537	0.043	7.736	8.816
2039	0.000	0.008	0.008	6.935	0.521	0.042	7.498	7.506
2040	0.000	0.008	0.008	6.737	0.506	0.041	7.284	7.292
2041	0.000	0.008	0.008	6.527	0.490	0.039	7.056	7.064
2042	0.000	0.008	0.008	6.323	0.474	0.038	6.835	6.842
2043	0.000	0.012	0.012	6.125	0.459	0.037	6.621	6.633
2044	0.000	0.343	0.343	5.933	0.445	0.036	6.413	6.756
2045	-1.128	0.007	-1.121	5.738	0.430	0.034	6.203	5.082
Kokku	8.073	1.953	10.026	218.444	16.466	1.342	236.251	246.277
% osa kogu kuludest	3.3%	0.8%	4.1%	88.7%	6.7%	0.5%	95.9%	

Tabel 11.5. Are ümbersõidu elukaare kulud lahenduse var_2 M_MULLE puhul, diskonteerimata

Aasta	Teehaldaja kulud, miljonit eurot			Teekasutaja kulud, miljonit eurot				LCC kulud kokku, milj/eur
	Investeering	Teehoole	Kokku	Sõiduk	Sõiduaeg	Õnnetused	Kokku	
2018	5.088	0.000	5.088	0.000	0.000	0.000	0.000	5.088
2019	0.000	0.021	0.021	10.904	0.832	0.069	11.806	11.827
2020	0.000	0.021	0.021	11.286	0.859	0.071	12.217	12.238
2021	0.000	0.021	0.021	11.668	0.886	0.074	12.628	12.649
2022	0.000	0.021	0.021	12.050	0.914	0.076	13.039	13.060
2023	0.000	0.021	0.021	12.431	0.941	0.078	13.450	13.471
2024	0.000	1.029	1.029	12.813	0.969	0.080	13.862	14.891
2025	0.000	0.021	0.021	13.179	0.996	0.082	14.257	14.278
2026	0.000	0.021	0.021	13.560	1.023	0.084	14.668	14.688
2027	0.000	0.021	0.021	13.942	1.051	0.086	15.079	15.100
2028	0.000	0.021	0.021	14.323	1.079	0.088	15.491	15.512
2029	0.000	0.021	0.021	14.705	1.107	0.090	15.903	15.924
2030	0.000	0.021	0.021	15.087	1.136	0.092	16.315	16.336
2031	0.000	1.029	1.029	15.361	1.155	0.094	16.610	17.639
2032	0.000	0.021	0.021	15.612	1.174	0.095	16.881	16.902
2033	0.000	0.021	0.021	15.885	1.194	0.097	17.176	17.197
2034	0.000	0.021	0.021	16.160	1.214	0.098	17.472	17.493
2035	0.000	0.021	0.021	16.434	1.234	0.100	17.768	17.789
2036	0.000	0.021	0.021	16.609	1.247	0.101	17.956	17.977
2037	0.000	0.021	0.021	16.784	1.260	0.101	18.145	18.166
2038	2.538	0.021	2.559	16.959	1.272	0.102	18.334	20.893
2039	0.000	0.021	0.021	17.092	1.283	0.103	18.479	18.500
2040	0.000	0.021	0.021	17.270	1.296	0.104	18.670	18.691
2041	0.000	0.021	0.021	17.399	1.306	0.105	18.810	18.830
2042	0.000	0.021	0.021	17.529	1.315	0.106	18.949	18.970
2043	0.000	0.034	0.034	17.660	1.324	0.106	19.090	19.124
2044	0.000	1.029	1.029	17.790	1.333	0.107	19.230	20.259
2045	-2.035	0.021	-2.014	17.896	1.341	0.108	19.345	17.330
Kokku	5.591	3.602	9.193	408.390	30.743	2.496	441.629	450.822
% osa kogu kuludest	1.2%	0.8%	2.0%	90.6%	6.8%	0.6%	98.0%	

Tabel 11.6. Are ümbersõidu elukaare kulud lahenduse var_2 M_MULLE puhul, diskonteeritud

Aasta	Teehaldaja kulud, miljonit eurot			Teekasutaja kulud, miljonit eurot				LCC kulud kokku, milj/eur
	Investeering	Teehoole	Kokku	Sõiduk	Sõiduaeg	Õnnetused	Kokku	
2018	4.704	0.000	4.704	0.000	0.000	0.000	0.000	4.704
2019	0.000	0.019	0.019	9.694	0.740	0.062	10.495	10.514
2020	0.000	0.018	0.018	9.648	0.734	0.061	10.443	10.461
2021	0.000	0.017	0.017	9.590	0.728	0.060	10.379	10.396
2022	0.000	0.017	0.017	9.523	0.722	0.060	10.305	10.321
2023	0.000	0.016	0.016	9.447	0.715	0.059	10.221	10.237
2024	0.000	0.752	0.752	9.362	0.708	0.058	10.129	10.880
2025	0.000	0.015	0.015	9.260	0.700	0.058	10.017	10.031
2026	0.000	0.014	0.014	9.161	0.691	0.057	9.909	9.923
2027	0.000	0.014	0.014	9.056	0.683	0.056	9.795	9.809
2028	0.000	0.013	0.013	8.946	0.674	0.055	9.675	9.689
2029	0.000	0.013	0.013	8.832	0.665	0.054	9.551	9.563
2030	0.000	0.012	0.012	8.712	0.656	0.053	9.421	9.433
2031	0.000	0.571	0.571	8.530	0.642	0.052	9.223	9.794
2032	0.000	0.011	0.011	8.335	0.627	0.051	9.013	9.024
2033	0.000	0.011	0.011	8.155	0.613	0.050	8.818	8.829
2034	0.000	0.010	0.010	7.977	0.599	0.048	8.625	8.635
2035	0.000	0.010	0.010	7.800	0.586	0.047	8.433	8.443
2036	0.000	0.010	0.010	7.580	0.569	0.046	8.195	8.205
2037	0.000	0.009	0.009	7.365	0.553	0.045	7.963	7.972
2038	1.071	0.009	1.080	7.156	0.537	0.043	7.736	8.816
2039	0.000	0.008	0.008	6.935	0.521	0.042	7.498	7.506
2040	0.000	0.008	0.008	6.737	0.506	0.041	7.284	7.292
2041	0.000	0.008	0.008	6.527	0.490	0.039	7.056	7.064
2042	0.000	0.008	0.008	6.323	0.474	0.038	6.835	6.842
2043	0.000	0.012	0.012	6.125	0.459	0.037	6.621	6.633
2044	0.000	0.343	0.343	5.933	0.445	0.036	6.413	6.756
2045	-0.653	0.007	-0.646	5.738	0.430	0.034	6.203	5.557
Kokku	5.123	1.953	7.075	218.447	16.466	1.342	236.254	243.329
% osa kogu kuludest	2.1%	0.8%	2.9%	89.8%	6.8%	0.6%	97.1%	

Tabel 11.7. Are ümbersõidu elukaare kulud lahenduse var_3 M_BET puhul, diskonteerimata

Aasta	Teehaldaja kulud, miljonit eurot			Teekasutaja kulud, miljonit eurot				LCC kulud kokku, milj/eur
	Investeering	Teehoole	Kokku	Sõiduk	Sõiduaeg	Õnnetused	Kokku	
2018	10.932	0.000	10.932	0.000	0.000	0.000	0.000	10.932
2019	0.000	0.021	0.021	10.904	0.832	0.069	11.805	11.826
2020	0.000	0.021	0.021	11.285	0.859	0.071	12.215	12.236
2021	0.000	0.021	0.021	11.666	0.886	0.074	12.625	12.646
2022	0.000	0.021	0.021	12.047	0.914	0.076	13.036	13.057
2023	0.000	0.021	0.021	12.428	0.941	0.078	13.446	13.467
2024	0.000	0.021	0.021	12.809	0.969	0.080	13.857	13.878
2025	0.000	0.021	0.021	13.190	0.996	0.082	14.268	14.289
2026	0.000	0.029	0.029	13.572	1.024	0.084	14.680	14.708
2027	0.000	0.035	0.035	13.953	1.052	0.086	15.091	15.126
2028	0.000	0.040	0.040	14.334	1.080	0.088	15.502	15.543
2029	0.000	1.029	1.029	14.715	1.108	0.090	15.913	16.942
2030	0.000	0.021	0.021	15.070	1.135	0.092	16.298	16.318
2031	0.000	0.021	0.021	15.343	1.155	0.094	16.591	16.612
2032	0.000	0.021	0.021	15.617	1.174	0.095	16.886	16.907
2033	0.000	0.021	0.021	15.890	1.194	0.097	17.181	17.202
2034	0.000	0.021	0.021	16.164	1.214	0.098	17.476	17.497
2035	0.000	0.021	0.021	16.438	1.234	0.100	17.772	17.793
2036	0.000	0.021	0.021	16.612	1.247	0.101	17.960	17.981
2037	0.000	0.028	0.028	16.787	1.260	0.101	18.148	18.177
2038	0.000	0.034	0.034	16.962	1.273	0.102	18.337	18.370
2039	0.000	1.029	1.029	17.136	1.285	0.103	18.525	19.554
2040	0.000	0.021	0.021	17.279	1.297	0.104	18.680	18.701
2041	0.000	0.021	0.021	17.404	1.306	0.105	18.815	18.836
2042	0.000	0.021	0.021	17.531	1.315	0.106	18.951	18.972
2043	0.000	0.021	0.021	17.658	1.324	0.106	19.088	19.108
2044	0.000	0.021	0.021	17.784	1.333	0.107	19.224	19.245
2045	-3.279	0.021	-3.259	17.911	1.342	0.108	19.361	16.102
Kokku	7.652	2.641	10.293	408.490	30.747	2.496	441.733	452.026
% osa kogu kuludest	1.7%	0.6%	2.3%	90.4%	6.8%	0.6%	97.7%	

Tabel 11.8. Are ümbersõidu elukaare kulud lahenduse var_3 M_BET puhul, diskonteeritud

Aasta	Teehaldaja kulud, miljonit eurot			Teekasutaja kulud, miljonit eurot				LCC kulud kokku, milj/eur
	Investeering	Teehoole	Kokku	Sõiduk	Sõiduaeg	Õnnetused	Kokku	
2018	10.107	0.000	10.107	0.000	0.000	0.000	0.000	10.107
2019	0.000	0.019	0.019	9.693	0.740	0.062	10.495	10.513
2020	0.000	0.018	0.018	9.646	0.734	0.061	10.442	10.460
2021	0.000	0.017	0.017	9.588	0.728	0.060	10.377	10.394
2022	0.000	0.017	0.017	9.521	0.722	0.060	10.302	10.319
2023	0.000	0.016	0.016	9.444	0.715	0.059	10.218	10.234
2024	0.000	0.015	0.015	9.359	0.708	0.058	10.125	10.141
2025	0.000	0.015	0.015	9.267	0.700	0.058	10.025	10.039
2026	0.000	0.019	0.019	9.169	0.692	0.057	9.917	9.936
2027	0.000	0.023	0.023	9.064	0.683	0.056	9.803	9.825
2028	0.000	0.025	0.025	8.953	0.674	0.055	9.683	9.708
2029	0.000	0.618	0.618	8.838	0.665	0.054	9.557	10.175
2030	0.000	0.012	0.012	8.703	0.655	0.053	9.411	9.423
2031	0.000	0.012	0.012	8.519	0.641	0.052	9.213	9.224
2032	0.000	0.011	0.011	8.338	0.627	0.051	9.016	9.027
2033	0.000	0.011	0.011	8.158	0.613	0.050	8.820	8.831
2034	0.000	0.010	0.010	7.979	0.599	0.048	8.627	8.637
2035	0.000	0.010	0.010	7.802	0.586	0.047	8.435	8.445
2036	0.000	0.010	0.010	7.582	0.569	0.046	8.197	8.206
2037	0.000	0.012	0.012	7.367	0.553	0.045	7.964	7.976
2038	0.000	0.014	0.014	7.157	0.537	0.043	7.737	7.752
2039	0.000	0.417	0.417	6.953	0.521	0.042	7.516	7.933
2040	0.000	0.008	0.008	6.741	0.506	0.041	7.287	7.296
2041	0.000	0.008	0.008	6.529	0.490	0.039	7.058	7.066
2042	0.000	0.008	0.008	6.323	0.474	0.038	6.836	6.843
2043	0.000	0.007	0.007	6.124	0.459	0.037	6.620	6.627
2044	0.000	0.007	0.007	5.931	0.444	0.036	6.411	6.418
2045	-1.052	0.007	-1.045	5.743	0.430	0.034	6.208	5.163
Kokku	9.055	1.365	10.420	218.490	16.468	1.342	236.300	246.720
% osa kogu kuludest	3.7%	0.6%	4.2%	88.6%	6.7%	0.5%	95.8%	

12. KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli leida innovatiivseid lahendusi muldekeha ehitusel kasutades ära maksimaalselt kohalikke, sealhulgas madalama kvaliteediga materjale. Erinevate võimalike variantide hulgast on valitud materjalide stabiliseerimisega seotud konstruktiivsed lahendused. Varasemates töödes teostatud võrdleva analüüsi teel on valitud projekteerimise baastarkvaraks Rootsi PMS Objekt. Et meil kasutatavatest ja ka kavandatud materjalidest oluline osa puudub PMS Objekti standardmaterjalidest, on valitud aluseks seal esinevad materjalid ning kogemuslikult korrigeeritud nende materjalide elastsusmooduleid, et viia need võimalikult lähedaseks meil kasutatavatega. Tarkvara edasise kohandamise käigus tuleb lisada meie materjalid ning püüda neile leida adekvaatsed arvutusparameetrid, nii laboratoorsete kui välikatsete (möötmiste) teel.

Kuna kavandatav trass asub peamiselt lagedal alal ja vastavalt INNO-2 lähteülesandele tuli mulde kõrguse puhul arvestada tuisuohutust, siis võimalikud uued lahendused on seotud muldkehas nõrgemate kohalike (külmakartlike) materjalide kasutamisega. Selliste materjalide kasutamise puhul tuleb need mulde ehitusel kaitsta muldesse jõudva vee eest – nii alt (kapillaartõus), kui ka pealt (sademed). Alt kaitsmiseks on võimalikud variandid aluse stabiliseerimine (erinevad variandid võimalikud) või geokomposiitmatiga. Pealt tuleb selline mulle kaitsta geokomposiitmatiga, mis takistab vee ligipääsu.

Vajumi- ja stabiilsusarvutustele tuginevalt ei ole otseselt vaja kohe kogu ulatuses 2+2 ristlõike järgselt muldkeha välja ehitada – olemasolevat konstruktsiooni on võimalik hiljem laiendada ilma ebaühtlase vajumi riskita. Lõikudes, kus savi kuivamiskoorik on õhuke, savi kogupaksus suur ja savi alumise osa moodustab voolavsavi (piirkonnad PA30 ja PA40) tuleb mulde nõlvus projekteerida laugem (1:2).

Juhul, kui:

- **Variant I** – muldkeha ehitatakse vastavalt 2+1 ristlõike vajadusele, tuleb nõrgematest kohalikest materjalidest (sõelmed+liiv) ehitatud muldkeha ümbritseda vee muldesse pääsu takistamiseks geokomposiitmatiga.
2+2 ristlõike vajaduse tekkides tuleb muldkeha laiendamiseks osaliselt lõhkuda ka olemasoleva 2+1 muldkeha ning see tähendab ühtlasi ka geokomposiitmati lõhkumist. Uue muldkeha osa ehitamisel ja selle ühendamisel vana osaga on suur risk, et geokomposiitmatti ei saa jätkata piisavalt kvaliteetselt ning see tähendab ühtlasi, et tekib risk vee sissepääsuks muldkehasse. See aga põhjustab muldes oleva materjali lagunemist ning kokkuvõttes teekonstruktsiooni olulist kandevõime kaotust.
- **Variant II** – muldkeha ehitatakse vastavalt 2+2 ristlõike ulatuses, siis sellele tulevikus katendikonstruktsiooni peale ehitamine sisaldab suhteliselt sarnaseid riske.

Nõlva kasvupinnase koormine ja seni katendita oleva muldkeha osa puhastamine ei õnnestu nii, et geokomposiitmatt kannatada ei saaks. Seega ka sel puhul tekib risk, et vesi pääseb muldkehasse.

Are ümbersõidu ehitamisel võimalused uue tee rajamiseks on:

- **Variant I** – muldkeha ja katend ehitatakse traditsioonilistest külmakindlatest materjalidest ning tulevikus muldkeha laiendamine ei tekita probleeme (vajumi riski pole).
- **Variant II** – muldkeha ja ka katendikonstruktsioon ehitatakse koheselt välja arvestades 2+2 ristlõiget ning see võimaldab mulde ehitusel kasutada nõrgemaid kohalikke materjale.
Eelduseks on, et muldkeha kaitstakse vee eest vee liikumist takistava geokomposiitmatiga.

Kuna trass asub savisel pinnasel, siis muldkeha ehituse aeg on kriitilise tähtsusega. Osa töid (nt kraavide süvistamine) saab teha talvisel perioodil, kuid niipea kui muldkeha ehitamiseks hakatakse aluselt kasvupinnast eemaldama on suur risk, et ilmastiku tõttu võib see märjaks saada. Seetõttu tuleb muldkeha ehituse alguseks valida võimalikult sademetevaene aeg (statistiliselt on see periood märts-aprill-mai). Kasvupinnase eemaldamise järgselt saab alustada kas aluspinnase stabiliseerimisega või siis geotekstiili paigaldamisega. Kasvupinnast pole soovitatav eemaldada pikalt ette, sest risk aluspinnase märgumiseks on suur.

Kõigi analüüsitud variantide puhul on Are ümbersõidu elukaare kulud analüüsiperioodil kokku vahemikus 450-453 miljonit eurot. Seejuures moodustavad teehaldaja kulud nendest sõltuvalt analüüsitud variandist 2,0-2,5% (9,2-11,4 miljonit eurot) ja teekasutajate kulud 97,5-98,0% (ca 441,5 miljonit eurot).

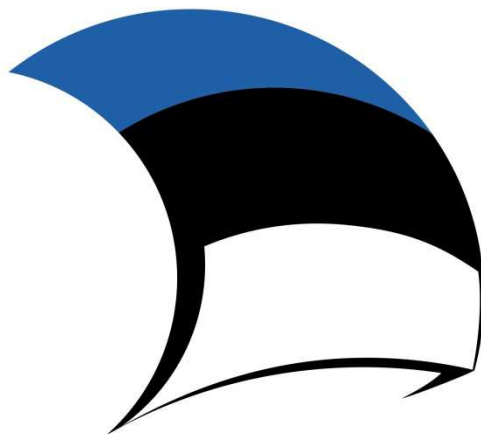
13. KASUTATUD KIRJANDUS

1. Pärnu maakonnaplaneering. Teemaplaneering „Põhimaantee nr 4 (E67) Tallinn-Pärnu-Ikla (Via Baltica) trassi asukoha täpsustamine km 92,0-170,0“. Pärnu, 2012.
2. Ehitusgeoloogilise uurimistöö aruanne. Are möödasõit riigitee nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla. REIB OÜ, 2017
3. Optimaalse teekonstruktsiooni koostamise metoodika väljatöötamine. I etapi aruanne. ERC/14/2016
4. Kaevandamisloaga kaevandamiseks määratud maapõue osa
5. „Rail Balticu ehitamiseks vajalike ehitusmaavarade varustuskindluse uuring. Lõpparuanne“. AS Teede Tehnokeskus, 2017
6. <http://eminfra.com/clay-stabilizer-enviroseal-lbs/>
7. <http://www.stabilroad.ee/>
8. https://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/5/5560/index.php
9. <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>
10. <https://www.rakennustieto.fi/infraryl/>
11. Loadman – kasutusjuhend
12. <https://www.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/teknik/Tekniskadokument/Vagteknik/PMS-Objekt/>
13. <http://eminfra.com/clay-stabilizer-enviroseal-lbs/> ja <http://www.paragongroup.ru/lbs.html>
14. <http://www.stabilroad.ee/> ja <http://www.infracrete.com/>
15. Teetööde ühikhinnad ja nende prognoos aastani 2022. TTÜ, Logistikainstituut. 2013
16. Intervjuu Pauli Kolisoja'ga – BRC 2017 raames
17. Intervjuu Tomas Winnerholtiga Stockholmis, kirjavahetus
18. Kirjavahetus Suzanne Baltzeriga (Taani Teedeinstituut)
19. Norra magistritöö Põhjamaade süsteemide võrdlusest
20. Intervjuud Riias, täpsustused Tallinnas (Maanteeametis toimunud koolitusel)
21. Intervjuu Vilniuses, Rita Kleiziene
22. https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10750/RelatedFiles/2011_072_TRVK_vag_2.pdf
23. <https://trafikverket.ineko.se/se/trvk-v%C3%A4g>
24. <https://trafikverket.ineko.se/se/trvk-v%C3%A4g>
25. Are möödasõit. Riigitee nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla. Are vald, Pärnu maakond.“ Ehitusgeoloogilise uurimistöö aruanne, Tallinn 2017. REIB OÜ töö nr GE-2210
26. Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design. FHWA-SA-98-079
27. www.stat.ee
28. Maanteeameti aastaraamat 2012
29. Komisjoni delegeeritud määrus (EL) nr 480/2014, Artikkel 19 Rahavoogude diskonteerimine
30. „Eesti tingimustele vastava betoonkatendi projekteerimine ja selle tasuvusanalüüs“, Ramboll Eesti AS, Tallinn 2013

LISA 1. Tehniline kirjeldus



Euroopa Liit
Euroopa
Regionaalarengu Fond



Eesti
tuleviku heaks

Lisa 1

Tehniline kirjeldus

Teadus- ja arendustöö

**Optimaalse tee konstruktsiooni koostamise
metoodika väljatöötamise II etapi tööülesanne**

Tallinn 2017

Tehniline kirjeldus

1. Optimaalseima tee konstruktsiooni koostamise metoodika väljatöötamise kogueesmärk

Metoodika väljatöötamise lõppülesandeks on saada optimaalne kohalikel ehitusmaterjalidel (veokaugus objektist kuni 50 km) baseeruv *tee konstruktsiooni* (st aluspinnase parendamine, vahetamine; muldkeha; katend ja kõik teekonstruktsioonis vajalikud kihid nagu kapillaartõusu katkestav kiht, drenkiht jms, mis tagavad tee optimaalse veerežiimi, mille korral vesi kas ei sattu konstruktsiooni või viiakse sealt välja etteantud aja jooksul) koostamise metoodika (edaspidi *metoodika*).

Metoodika väljatöötamine koosneb kolmest etapist:

1. etapp - metoodika kontseptsioon + katendiarvutus (võrdlev) tasuvusarvutusega tõendamaks metoodika eeliseid võrreldes projekteerimisnormidele tugineva lahendusega. Pärast 1.etapi Töö teostamist kohustub Töövõtja Tellija vastava soovi korral sõlmima lepingu 2. etapi teostamiseks. Tellija valib 1.etapis koostatud lahenduste hulgast kaks optimaalseimat (eraldi töörühmade) lahendust.

2. etapp – Tellija annab geotehnilised uuringud. Esimese etapi kaks paremat täpsustavad metoodikat, vajadusel ka katendi lahendusi. Tallinna Tehnikakõrgkooli ekspertrühm, koostab mõlema konstruktsiooni LEM katsemudeli, kontrollimaks lahendite toimivust [LEM mudel kalibreeritakse tuginedes HVS koormusstendile), parim väljub võitjana (vt täpsemalt p.4).

3. etapp (valikuline, sõltuvalt 2.etapi tulemustest) - programmi prototüüp. Töövõtja teeb katendiarvutuse programmi prototüübi kaasates pädeva IT personali.

Arendustöö üheks eesmärgiks on innustada insenere ja projekteerijaid kaasa mõtlema alternatiivsete ja jätkusuutlike lahenduste otsimisele.

Käesolev tehniline kirjeldus käsitleb optimaalse tee konstruktsiooni meetodika väljatöötamise 2.etappi.

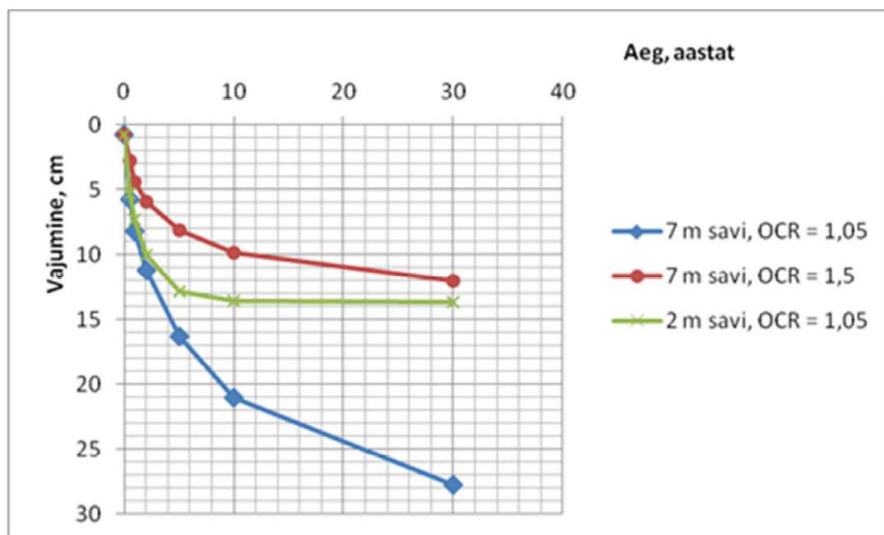
2. Optimaalse tee konstruktsiooni koostamise metoodika täpsustamine ja täismahus tee konstruktiivse lahenduse koostamine, 2.etapi tööülesanne:

2.1. Kuna T-4 Are ümbersõidu katseobjekt asub enamjaolt lagedal põllul (joonis 1), siis on vajalik tagada majandus- ja taristuministri 05.08.2015.a määruse nr 106 „Tee projekteerimise normide“ (edaspidi projekteerimismid) järgne tuisuohutuse nõue. Kuna I etapi teostamise järel ei suudetud elukaare analüüsile tuginedes Tellijat veenda toodud nõuete alandamise majanduslikust otstarbekusest (nt tuisuheki rajamine jms meetme abil), siis peab II etapis projekteerimismid min kõrgustest lähtuma lagedal alal (p.2.8.1, A-variandis)



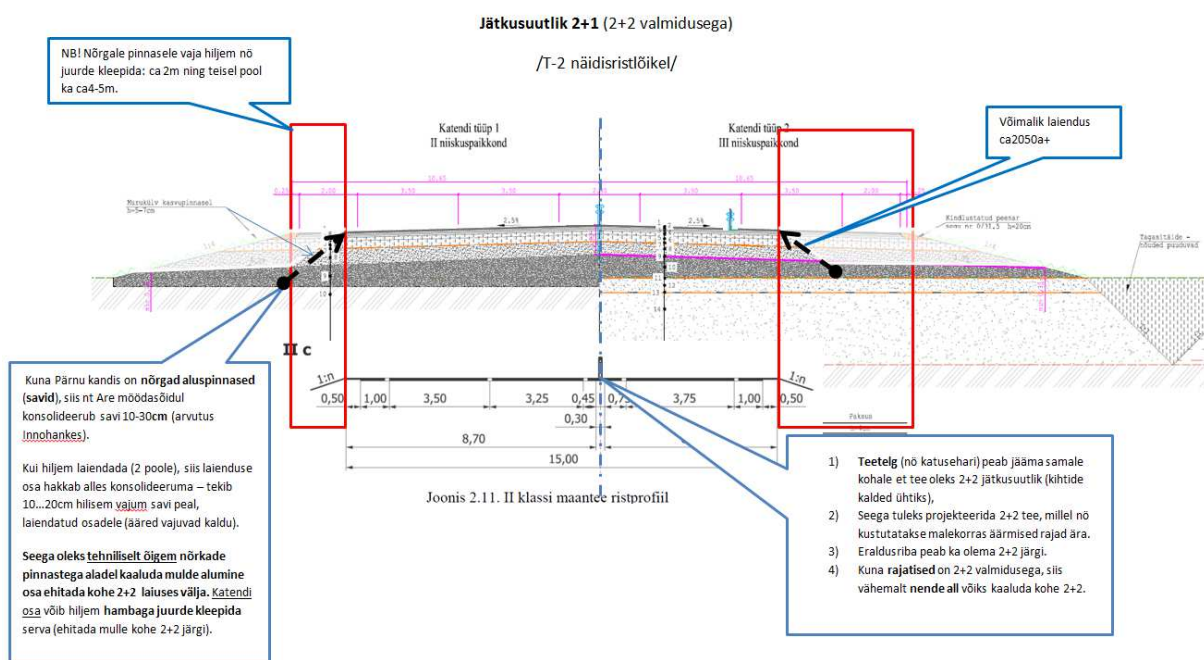
Joonis 1 T-4 Are ümbersõidu uus trassikoridor asub peamiselt lagedal põllul

2.2. I etapi põhjal teostatud esialgsete arvutuste (joonis 2) ja analüüside põhjal jõudis Tellija järeldusele et nõrkadel aluspinnastel nagu katselõigul, (vt joonis 1 näha nt plastne savipinnas) saab peamiseks probleemiks olema 2+1 teede (II klassi) jätkusuutlikus, ehk 2+2 laiendamise võimalus tulevikus. Teostatud esialgsete arvutuste järgi võivad teeäärde juurdeliidetavad osad hiljem kuni 30cm järel vajuda (konsolideeruda), mis põhjustab väga suuri remondikulutusi ning liiklusohutuse probleeme tulevikus.



Joonis 2 T-4 Are möödasõidu vajumid savipinnasel võivad 30 aastaga ulatuda 30cm, 2m mulde korral.

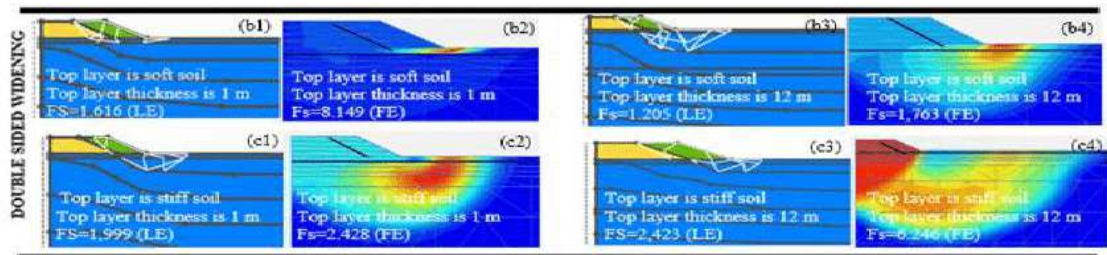
2.3. Arvestades I etapist saadud kogemusi, on otstarbekas II klassi teed projekteerida kohe I klassi valmidusega ehk nii et pikaajalist elukaareanalüüsi tehes (30a+), oleks konstruktsioon optimaalsete kulutustega jätkusuutlik. Keskenduma peaks seega kogu Eesti 2+1 ristlõigete optimeerimisele, mis võimaldaks neid optimaalsete kulutustega ja tehniliste riskidega 2+2 laiendada nõrkadel aluspinnastel (nt 30a+ pärast, vt joonis 3 punases kastis probleemsed laiendusala).



Joonis 3 Uusi 2+1 trasse hulgaliselt kavandades on mõistlik arvestada varakult nende jätkusuutlikkusega (eriti nõrkadel aluspinnastel).

2.4. Arvestades eeltoodut, tuleb II osas keskenduda lisaks konstruktsiooni kõrguslikule (H) optimeerimisele, nõrkade aluspinnaste korral rohkem 2+1 ristlõike (B) jätkusuutlikumaks

tegemisele (nt analüüsida mulde alaosa kohest 2+2 järgse väljaehitamise otstarbekust, et vähendada hilisemaid vajumi ja praguderiske jms, vt joonis 4 ja 8).



Joonis 4 Tee laiendamise korral tekkivate probleemide modelleerimise näide lõplike elementide meetodiga (FEM)

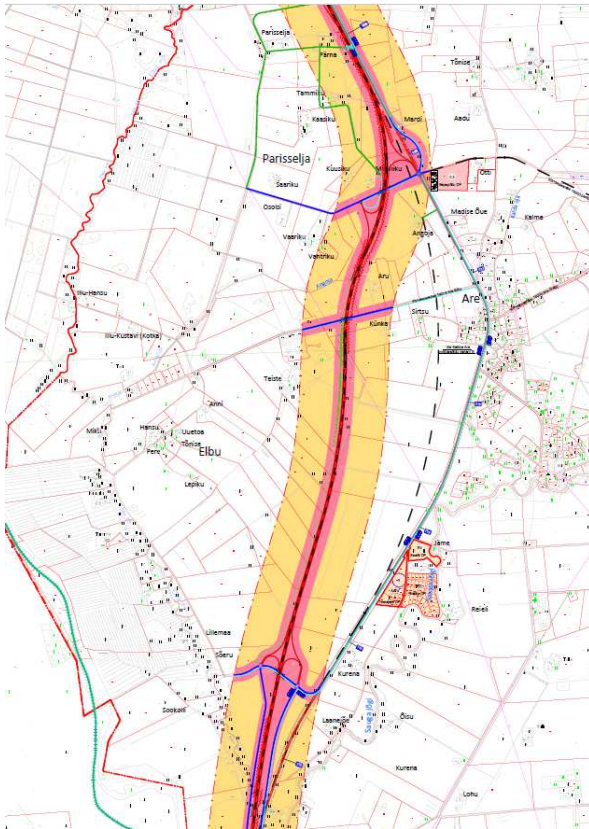
- 2.5. Konstruksioonilahendused tuleb kanda joonistele. Aluseks tuleb võtta täpsed mõõteahelad 2+2 kitsale ristlõikele: (0,5+2,0+3,5+3,5+**2,8**+3,5+3,5+2,0+0,5) ning 2+1 llc ristlõikel (joonis 6): (0,50+1,00+3,50+3,25+0,45+**0,30**+0,75+3,75+1,00+0,50). Joonis 3 on näidatud üldine põhimõtteline skeem.
- 2.6. Töövõtjal tuleb geotehnilistele arvutustele ja katendiarvutustele tuginedes Tellijat veenda kuidas oleks kõige optimaalsem (**kohalike materjale kuni 50km kasutades**) tagada vajalikud projektkõrgused ning samas oleks tagatud konstruktsiooniga sujuv ning optimaalne jätkamine tulevikus.
 - 2.6.1. Esitada eraldi peatükis karjäärade ja materjalide ülevaade 50km raadiuses.
 - 2.6.2. Konstruktsioonis tuleb kindlasti kasutada pehmeid paekivi kihte, sõelmeid jms karjäärides ülejäävat kohalikku materjali.
 - 2.6.3. Tehnilises ja -majanduslikus võrdluses tuleb lisaks projekteerimishormide järgse konstruktsiooniga võrrelda maksumusi ka betoonkatendiga (maksumus aluseks tuleb võtta Eesti tingimustele vastava betoonkatendi projekteerimine ja selle tasuvusanalüüs, Ramboll 2013a, Tabel 5 **AB+BET** konstruktsioonitüübi (maksumused)), elukaarekulud arvutada 30 aastale analoogselt teistega.
- 2.7. II etapis tuleb T-4 Are ümbersõidu jätkusuutliku 2+1 mulde ja konstruktsiooni näidis põhiprojekt koostada ning **väljatöötatud optimaalsete lahendusmetoodika** alusel teha ettepanekud *Muldkeha ja drenkihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise* (Maanteeameti peadirektori 05.01.2016. a käskkirj nr 0001) täiendamiseks projekteeritavate jätkusuutlike 2+1 lahenduste mullete peatüki osas (neid kavandatakse lähiajal palju).
- 2.8. Projekteerimisel tuleb kasutada Teemaplaneeringu trassi telge (p3.1), kõrguslik osa lahendatakse katendiarvutuste ning lagedal alal lisaks tuisuohtus jms nõudeid arvestades.
- 2.9. **Projekteerida tuleb min 2 mulde- ja katendikonstruktsiooni, jätkusuutlike 2+1 konstruktsioonilahenduste projekteerimise metoodika väljatöötamiseks** (kasutades lisaks p. 3 kirjeldatud lähteandmeid):
 - 2.9.1. Nõrkadel aluspinnastel ning lagedal alal (A):
 - 2.9.1.1. Kõrguse osas tuleb lähtuda edaspidi I klassi tuisuohtust kõrgusest 1,2m+0,55m(lumikatte paksus)=**1,75cm** kuna niigi paksule II klassi kattele ei ole mõeldav tulevikus veel ca0,5m paksu katendi omakorda pealeehitamine (kui lähtuda algul IIkl 0,7m+0,55m =1,25m, vt projekteerimishormides, valem 3.2).
 - 2.9.1.2. Kõrge mulde korral, konstruktsiooni stabiilsust vähendavaid kraave, ei ole üldjuhul vaja vee ärakuhtimiseks rajada.

- 2.9.1.3. Tuua arvutustele (vajumi- ja stabiilsusarvutused) tuginedes välja riskid ja nende suurused (sh eeldatavad täiendavad maksumused) jms, juhul kui mullet tuleb laiendada tulevikus antud olukorras (vt joonis 3 ja 4).
- 2.9.1.4. Teha arvutustele (vajumi- ja stabiilsusarvutused) tuginedes ettepanekud jätkusuutlikemate lahenduste osas (nt mulde alaosa väljaehitamine 2+2 laiuselt, vms).
- 2.9.2. Nõrkadel aluspinnastel (B), väljaheelal laetud alasid:
- 2.9.2.1. Katendiarvutustest tulenev mulde min kõrgus ehk madalam mulle (ca 0,9-1,2m).
- 2.9.2.2. Arvestada kraavide rajamise vajadusega.
- 2.9.2.3. Tuua arvutustele (vajumi- ja stabiilsusarvutused) tuginedes välja riskid ja nende suurused (sh eeldatavad täiendavad maksumused) jms, juhul kui mullet tuleb laiendada tulevikus antud olukorras (vt joonis 3 ja 4).
- 2.9.2.4. Teha arvutustele (vajumi- ja stabiilsusarvutused) tuginedes ettepanekud jätkusuutlikemate lahenduste osas (nt mulde alaosa väljaehitamine 2+2 laiuselt, jms).
- 2.9.2.5. Kraavide korral nõrkades aluspinnastes tuleb rajada need 2+2 asukohtadesse. Tuleb välja töötada meetmed kuidas tagatakse optimaalse viisil sadevete äravool 2+1 ristlõike korral (nt 2+2 mulde alaosa väljaehitamise korral jäetakse see tugeva kalde alla pealt vms).
- 2.10. Metoodika kontseptsiooni aluseks võivad olla analoogse kliimavöötmega juhusid ja normid, mis peavad EN määrusega 305/2011 kooskõlas olevate toodetega olema arvutuslikult tõestatud ja mis tagavad nõutava (projekteerimisnormide suhtes vähemalt ekvivalentse) tulemuse.
- 2.11. Metoodika koostamisel arvestada, et oleks võimalik tõestada järgmisi suuruseid: vajum projektjoone suhtes, pikikalde muutuse %, põikikalde muutuse % 30 aasta jooksul.
- 2.12. Uuringu lõpus peab selgelt välja tulema tehnilis-majanduslike elukaare põhjendustega kui palju 2+2 valmidus tõstab maksumust ja kas see on mõistlik 30+ aastat silmas pidades.
- 2.13. Töövõtjatel peab olema min 3 liikmeline meeskond, sh min 1 geotehnik.

3. Lähteandmed näidislõigule

3.1. Taustainfo: Pärnu maavalitsuse teemaplaneeringuga kinnitatud trassi koridor, mis on saadaval siit:

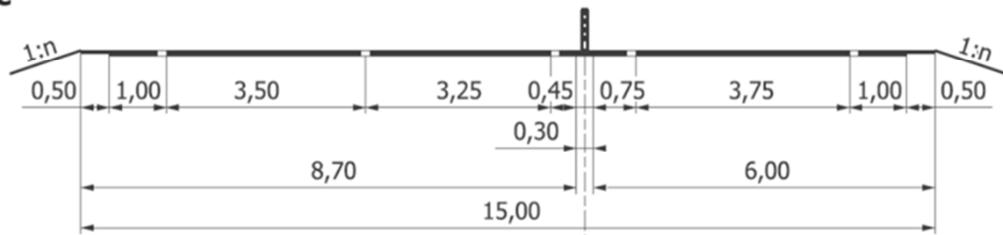
http://parnu.maavalitsus.ee/documents/181369/4247846/ARE_kaart.pdf/f94acaf5-dec0-4d19-a9cf-f1525f44fe8a



Joonis 5 T-4 Are ümbersõidu uus trassikoridor asub lagedal põllul ja nõrgal aluspinnasel

- 3.2. Are ümbersõidu geoloogia [aruanne](#) REIB 2017a geotehniliste uuringute aruanne Are möödasõit, riigitee nr 4 Tallinn-Pärnu-Ikla, töö nr GE-2210.
- 3.3. Vajadusel tuleb Töövõtjal teha omale lisauuringud ja katsetused.
- 3.4. Arvestada mh projekteerimisel survealise vee esinemise võimalusega: *Kaevetööde käigus esines uuringupunktis PA 6 survealise vee kiht. Kaevetöödel tuleb arvestada, et moreenis (kihid 6,7,8 ja 9) esinevad liivakamad vahekihid või lüütsed, mis võivad anda survealist vett.*
- 3.5. Kavandatava näidislõigu tee ristlõikeks on ette nähtud nn 2+1 lahendus, ristlõikes on ettenähtud ühtlased omadused kattel (st kõik sõidurajad samade omadustega).
- 3.6. Teekonstruktsioonile pakutavate lahenduste valikul tuleb arvestada, et rajataval objektil lähtutakse valdavalt 2+1 ristlõike lahendusest (maantee klass „II c“ ning mõõdud vastavalt joonisele 6) kuid see peab olema tehniliselt projekteeritud nii, et seda on võimalik hiljem 2+2 optimaalsete kulutustega 2+2 ristlõikele laiendada (joonis 2).

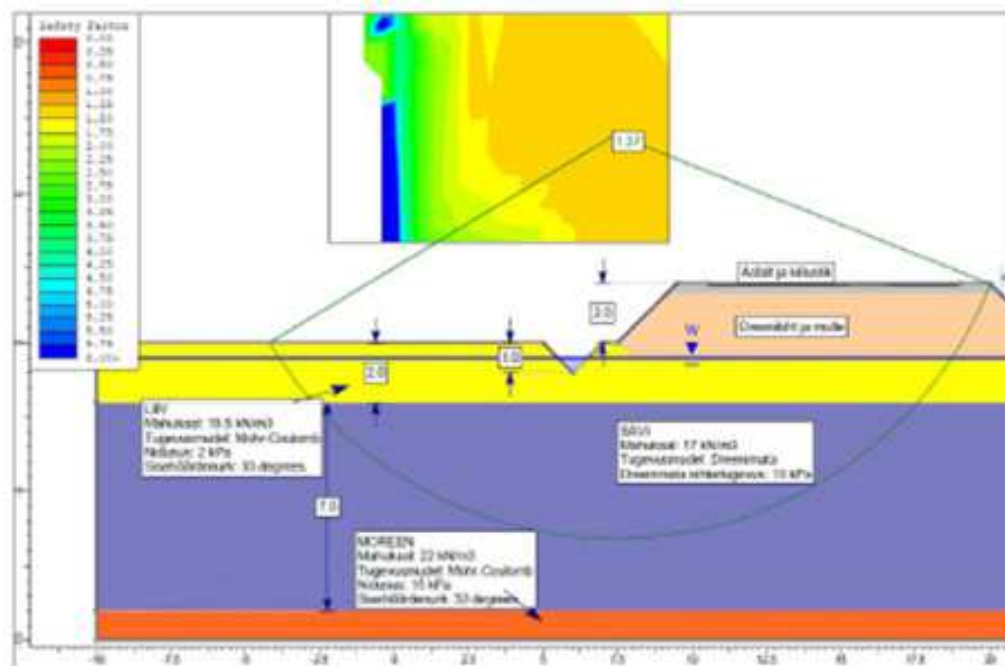
II c



Joonis 2.11. II klassi maantee ristprofiil

Joonis 6. Väljavõtte projekteerimismistandist - 2+1 tee ristlõike parameetrid.

- 3.7. Projektne kandevõime **Evaj=309MPa** (KAP arvutusse sisestada). Arvutused peavad olema tehtud uue *Elastsete teekatendite projekteerimise 2017-003 juhendi* kohaselt.
- 3.8. Väljatöötatud muldena peab olema pikaajaliselt stabiilne ja tugev (sh Ikl projektkiiruse 120km/h korral, vajum punase joone suhtes lubatud 30cm, pikikalde muutus 0,6%, põikkalde muutus 1,5% 30 aasta jooksul. Vajum esimese 5 aasta jooksul punase joone suhtes lubatud 12cm, pikikalde muutus 0,24%, põikkalde muutus 0,6%.
- 3.9. Mulle projekteeritakse lähtuvalt standardist EVS-EN 1997. Muldkeha ja drenkihi elueaks tuleb arvestada vähemalt 50 aastat ja aluspinnase tugevdamise tehniliseks elueaks 100 aastat. Muldkeha ja drenkihi eluea all mõeldakse aega standardi EVS-EN 1990 mõistes, mille jooksul see täidab talle algselt ettenähtud funktsiooni ning selle perioodi jooksul peab teda korras hoidma asjatundlikult projektis ettenähtud või omaniku sätestatud kasutus- ja hooldusjuhendi järgselt.
- 3.10. Mulde ehituse tehniliste alternatiivide aruande koosseisus esitada alternatiivide kirjeldus, mis käsitleb ehitustööde tehnoloogia kirjeldust, materjalidega seonduvat (eemaldatava pinnase mahud, juurdeveetava materjalide mahud) ja vajaliku ajaressursi kirjeldust (sh mulde ehitusele kuluv aeg, edasiste etappide teostamise eripärad sõltuvad mulde rajamise tehnoloogiast).
- 3.11. Aruandes tuleb esitada kõigi variantide kohta, **minimaalselt 1 mulde stabiilsuse ja vajumise arvutus tee kilomeetri kohta** (nõrkade aluspinnastega kohtadel min 400 m tagant). Aruande kokkuvõttes tuleb esitada Töövõtjal omapoolne selgelt põhjendatud (tehniliselt, majanduslikult, keskkonna jm osas) ettepanek Tellijale parima lahenduse osas, reastades eelistuse järjekorras ka ülejäänud variandid.
- 3.12. Geotehniliste arvutuste lähteandmed tuleb esitada tabelite näol. Arvutused peavad olema tehtud spetsiaalse tarkvaraga, mis võimaldab teha geotehnilisi arvutusi, tuues välja kõik kontrollväärtused. Stabiilsus peab olema tagatud arvestades EVS-EN 1997 nõudeid. Liikluskoormuseks tuleb võtta 25kN/m². Arvutustes tuleb arvestada projekteerimismistandide järgsete nõlvustega ning kraavide olemasoluga projektis (ebastabiilsem mulle, kui kraavid lähedal, vt nt joonis 7).
- 3.13. Maksumuste võrdluseks tuleb kasutada 2017a maksumusi [aruandest](#) Teetööde ühikhinnad ja nende prognoos aastani 2022, TTÜ 2013a.
- 3.14. Kõik osapooled peavad oma aruannete kaanele lisama antud faili esikaanel oleva logo (Euroopa Regionaalarengu Fondi [logo](#)).



Joonis 7. Ligikaudne, näidis stabiilsusarvutus T-4 Are ümbersõidul.

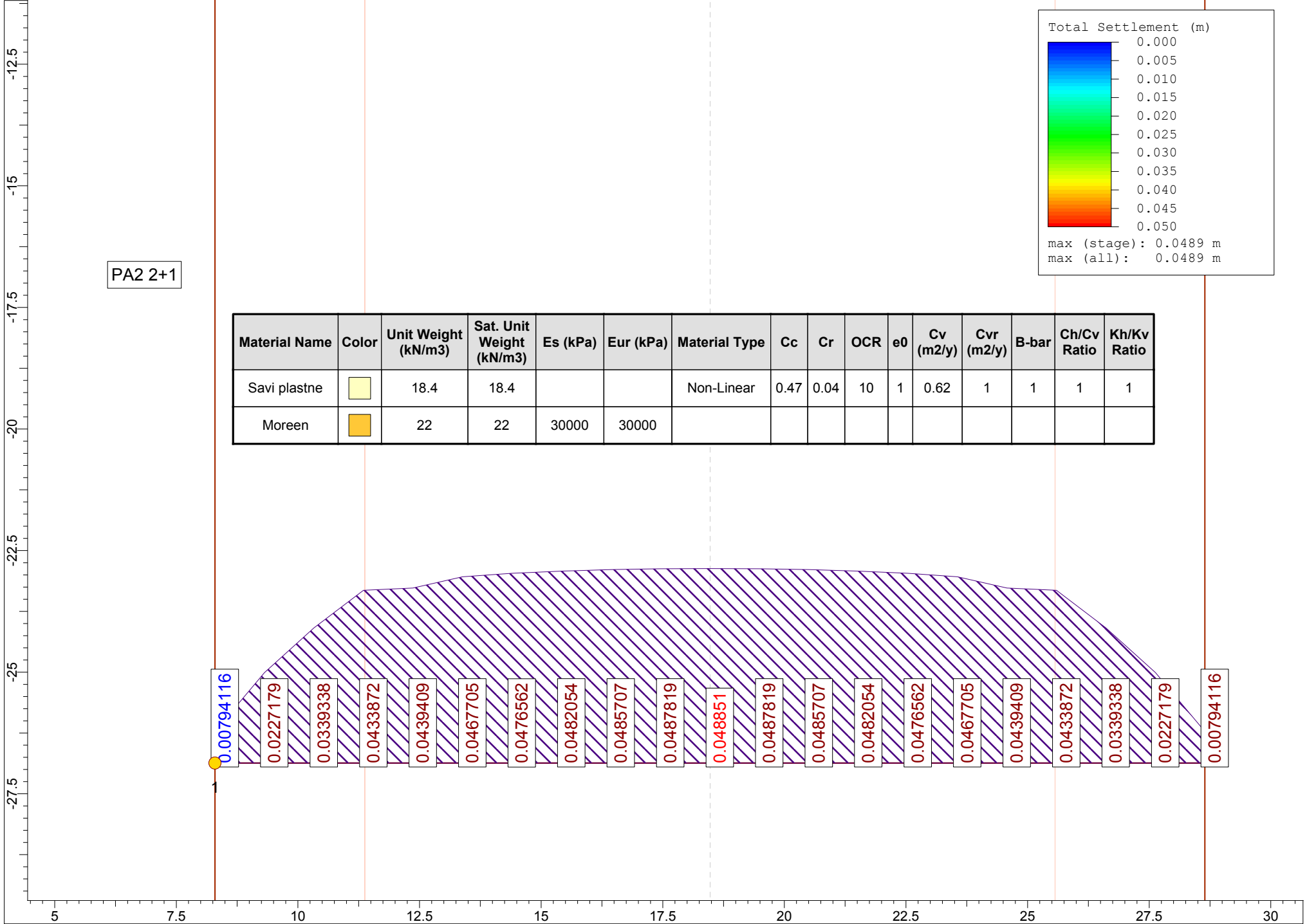


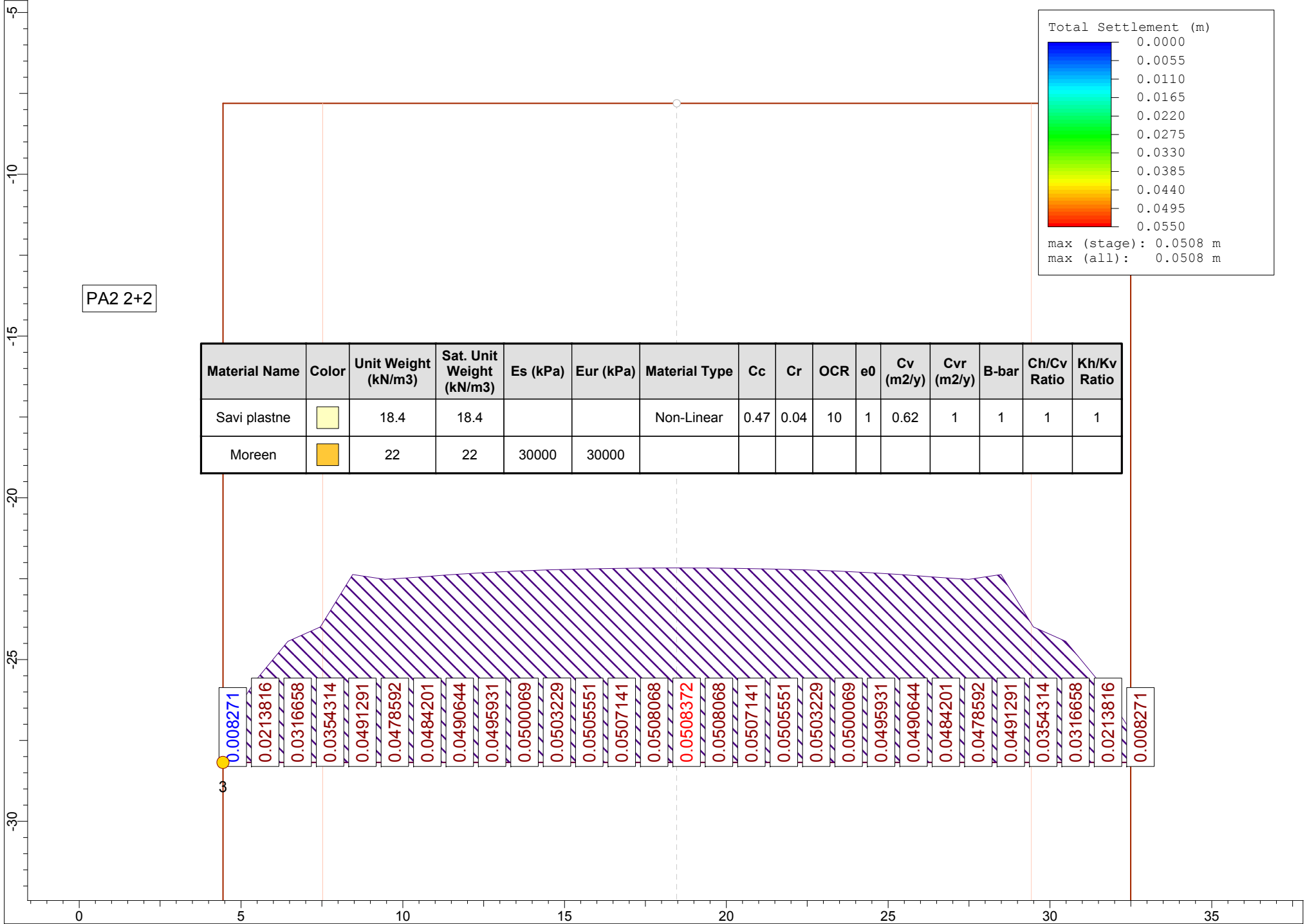
Joonis 8. Hilisemad võimalikud probleemid võivad olla suured hoolde ja remondikulud 2+1 teelõikudel kui varakult 2+2 laiendamiste võimalusega ei arvesta nõrkadel pinnastel (rattajälge sattudes võib laiendus kiiresti ära vajuda lisaks tavapärasele vajumile).

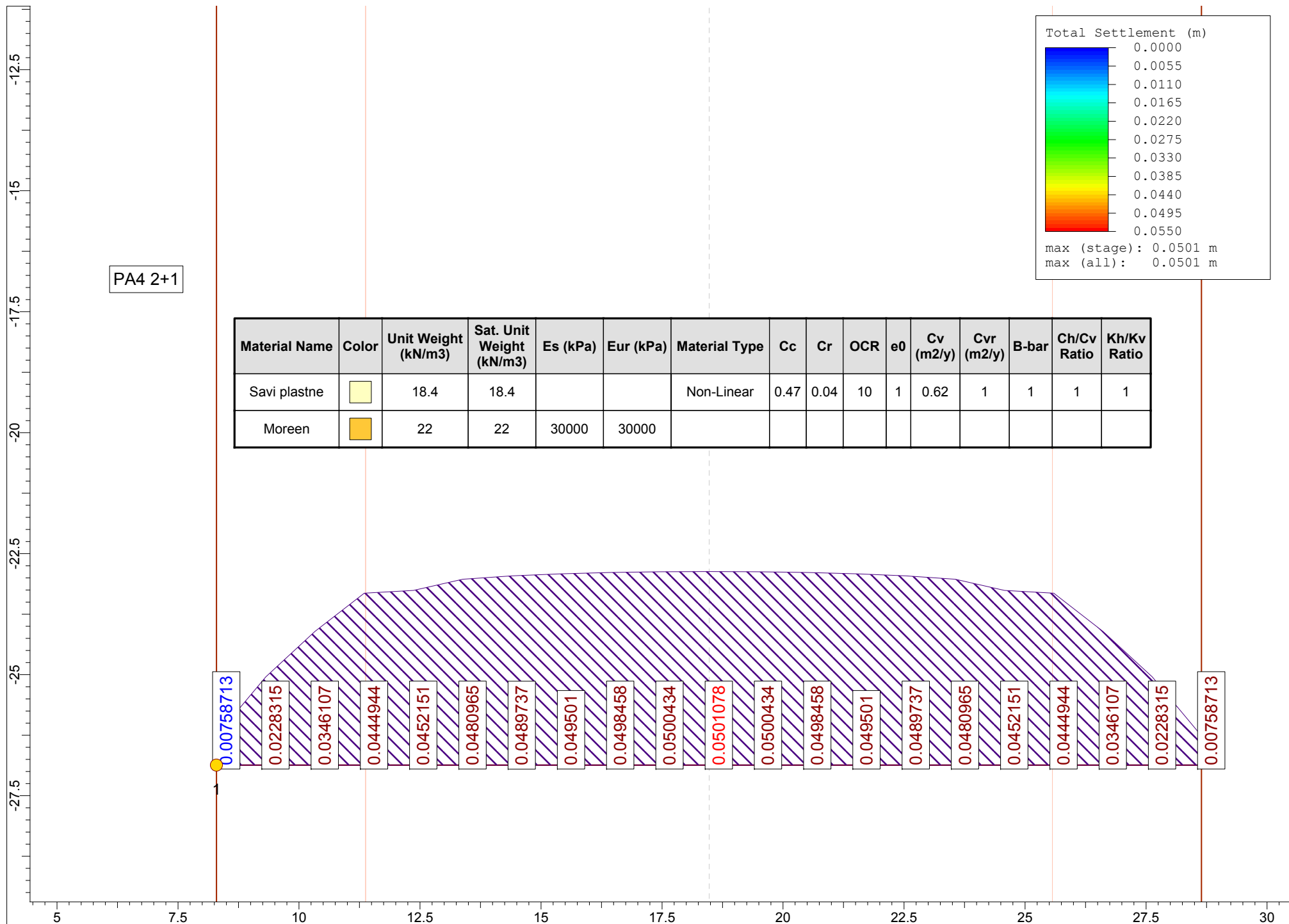
4. II etapi tulemuste esitamine, võitja väljaselgitamine ja innovatsioonihanke tasud.

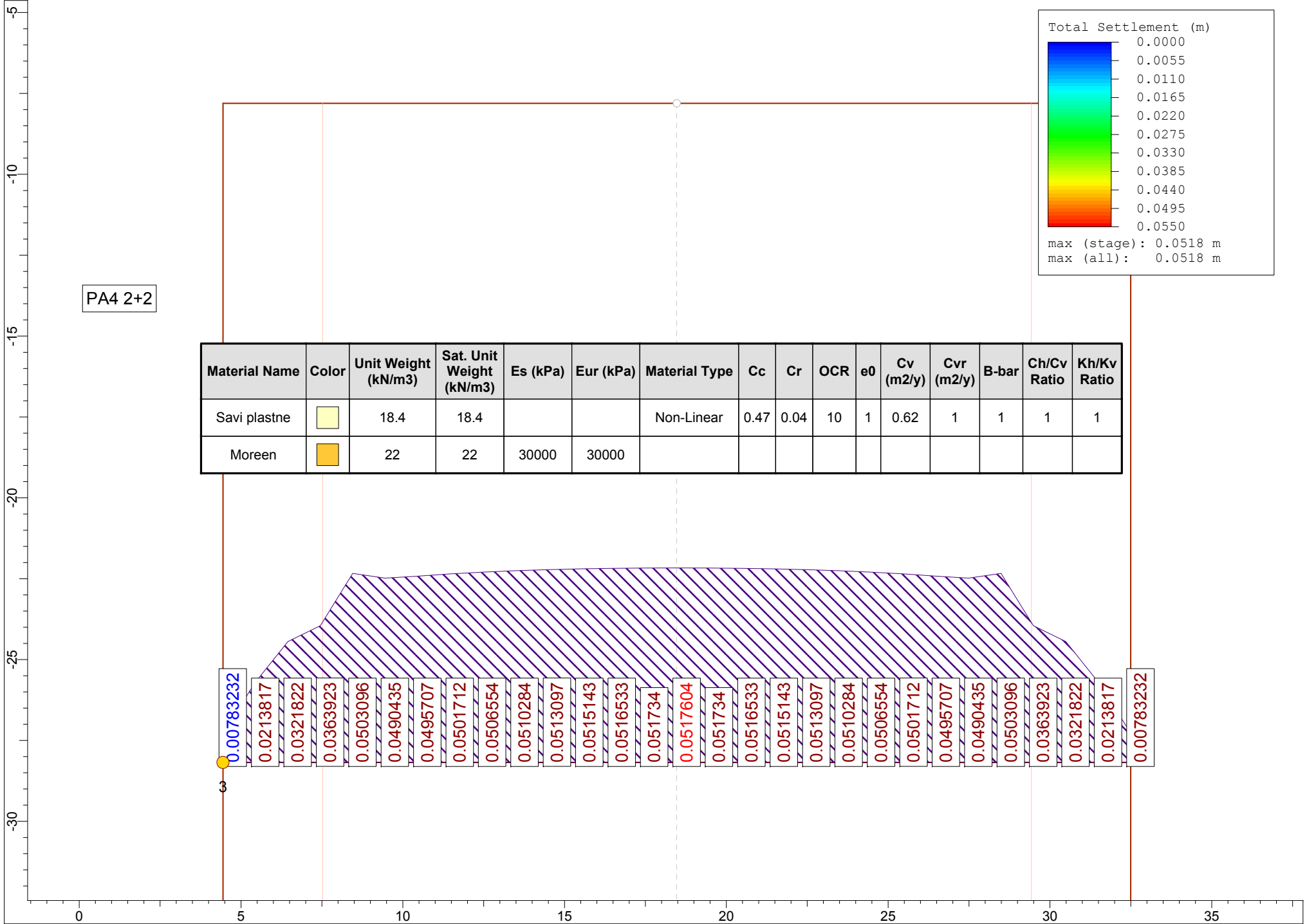
- 4.1. Töövõtjad aktsepteerivad Teadus- ja arendustööde lepingut sõlmides, et töid hindab erapooletuna Tallinna Tehnikakõrgkooli Rahvusvaheline Ekspert Töörühm (RET), kes teeb Maanteeametile ettepaneku I ja II koha võitja kohta hiljemalt 01.12.17.
- 4.2. RET kaasab min 1 naaberriigi ülikooli/kõrgkooli (nt Aalto Ülikool) partnerina kellel on kogemus LEM (Lõplike Elementide Meetod, inglisk. [FEM](#), joonis 4) mudeliga teekonstruktsiooni stabiilsuse ja vajumite kontrollimise osas ning selle HVS kalibreerimise osas (min 1 pHd). Lisaks kaasab min 1 pHd geotehnika eksperdi töörühma Eestist.
- 4.3. RET teostab LEM metoodikaga optimeeritud teekonstruktsiooni kontrollarvutuse, kasutades selle kalibreerimiseks HVS-i koormustendi katsetest saadud andmeid. Hindab esitatud metoodikate ja lahenduste paremust ning teeb põhjendatud ettepaneku parima lahenduse osas, arvestades kohalike materjalide parimat kasutamist ja tehnilise lahenduse optimaalsust jm nõutut.
- 4.4. Innovatsioonihanke I koht 80 000 +30 000 (preemia) EUR (sisaldab käibemaksu).
- 4.5. Innovatsioonihanke II koht 80 000 EUR (sisaldab käibemaksu).
- 4.6. Innovatsioonihanke II osa **Vahearuanne tuleb esitada hiljemalt 01.09.17.** Kui vahearuanne sisaldab kõiki p.2 toodud töid, tasutakse vahearuande eest mõlemale osalisele enne võitja väljaselgitamist võrdselt 40 000 EUR (sisaldab käibemaksu).
- 4.7. Tellija vaatab vahearuanded 2 nädala jooksul läbi ning teeb vajadusel täpsustavaid märkusi mida võib 2 nädala jooksul enne Lõpparuandeks vormistamist sisse viia (et suurendada I kohale jõudmise võimalusi, kohustust Tellija täpsustavate märkustega arvestada ei ole).
- 4.8. Tellija esitab Lõpparuanded RET'le, kes hiljemalt 01.12.17 teeb oma töö põhjal Maanteeametile ettepaneku parima Innovatsioonihanke töö osas, mida Maanteeamet arvestab võitja kinnitamisel.
- 4.9. RET simuleerib võitja väljaselgitamiseks (01.12.17) LEM erinevaid lahedusi, mille kalibreerimiseks kasutab HVS-i teostatud koormusstendi andmeid.
- 4.10. Sõltuvalt lahendustest, teeb RET laborikatseid juurde, et hinnata tulemuste toimivust (nt kolmetelgseid katseid, kapillaartõusu ja külmakerkekatseid vms).
- 4.11. RET teeb aruannete läbianaalüüsimiste ning täiendavate LEM simulatsioonide põhjal ettepaneku parima lahendi kinnitamise osas Maanteeametile ning *Muldkeha ja drenikihi projekteerimise, ehitamise ja remondi juhise* (Maanteeameti peadirektori 05.01.2016. a käskkiri nr 0001) täiendamiseks omalt poolt.
- 4.12. Toimub Lõpparuannete eest tasumine vastavalt p.4.4 ja 4.5 kogusummale (maha läheb Vahearuande eest varem tasutud 40 000EUR, mis sisaldab käibemaksu).

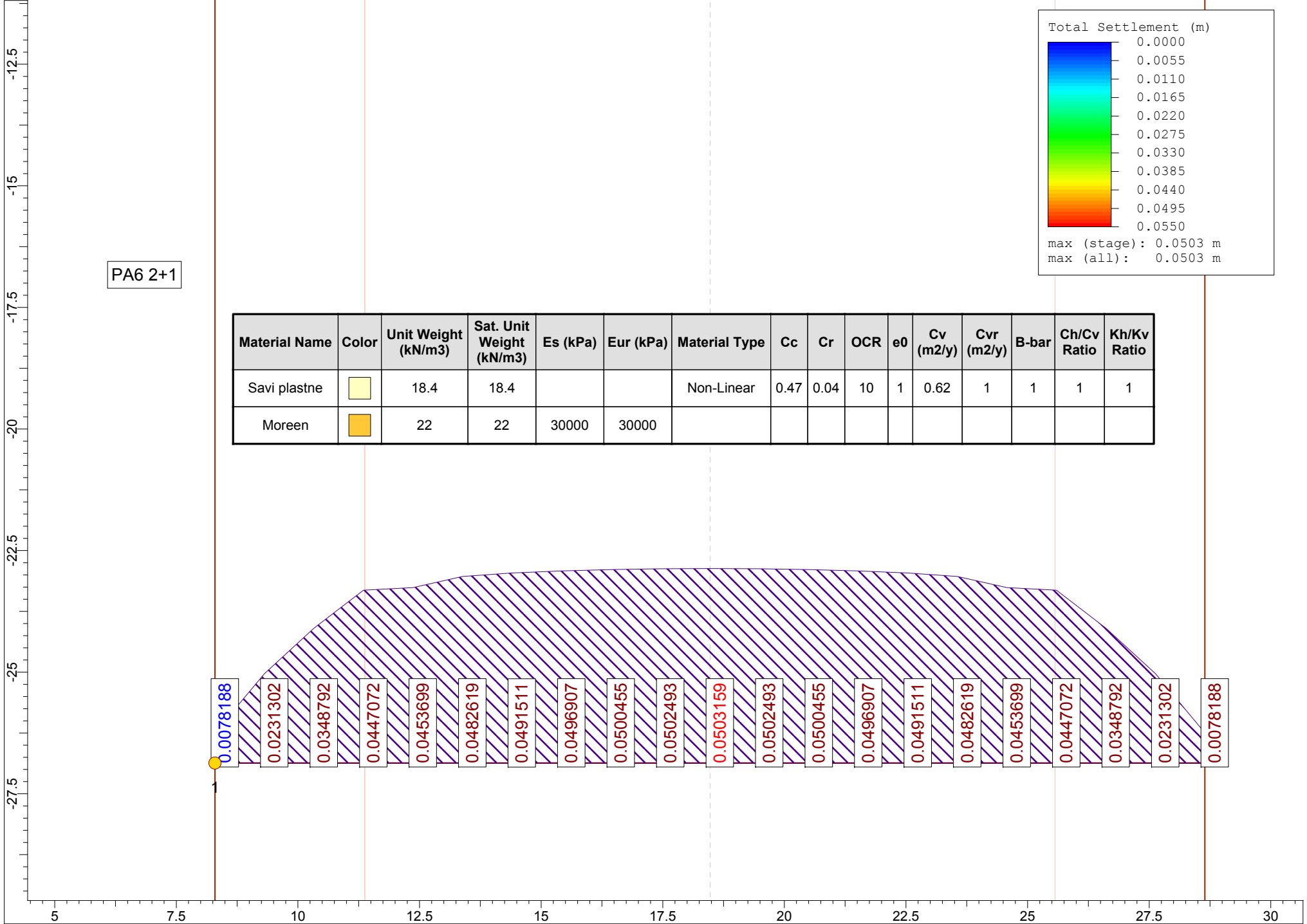
LISA 2. Vajumise arvutuste tulemused

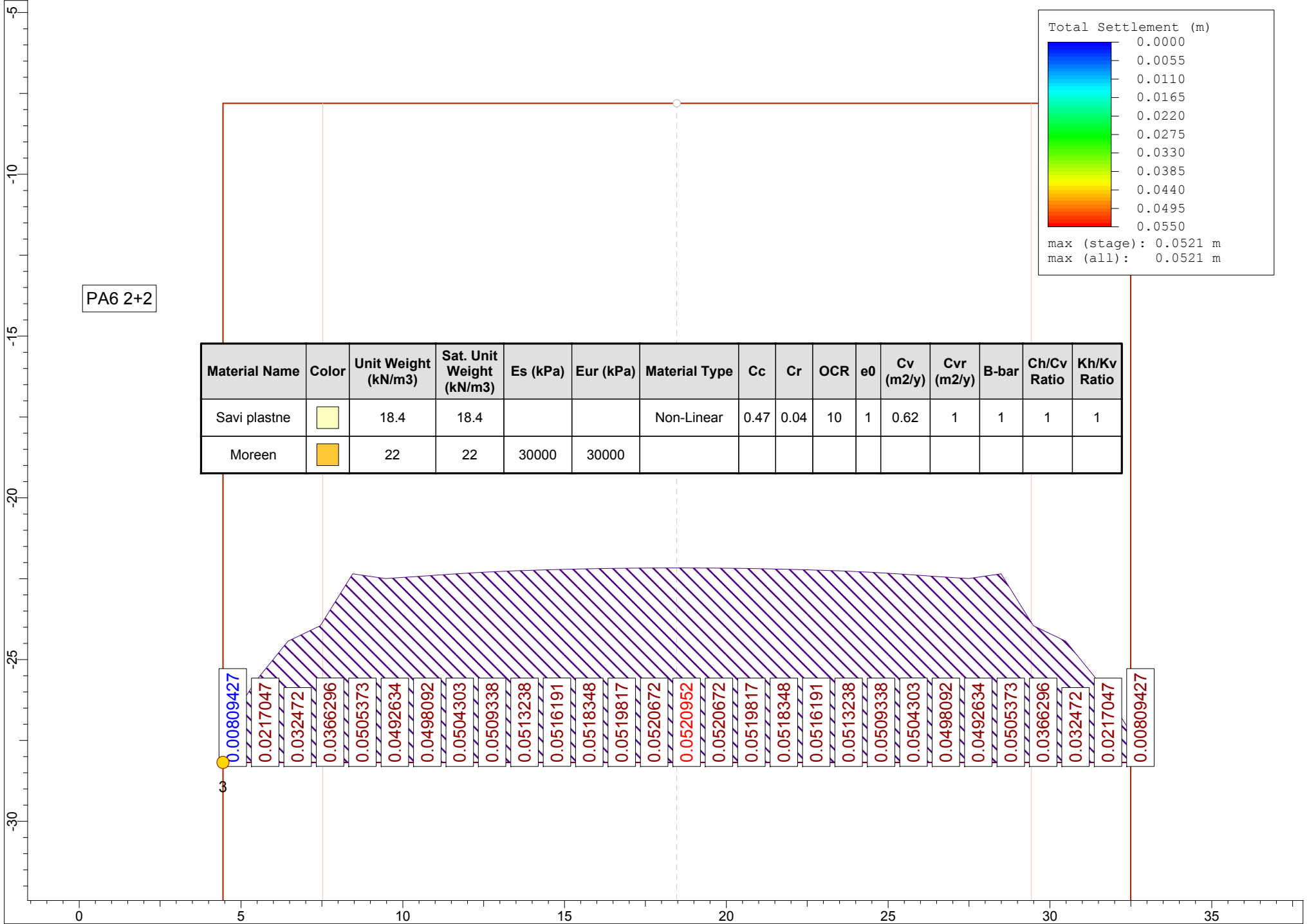


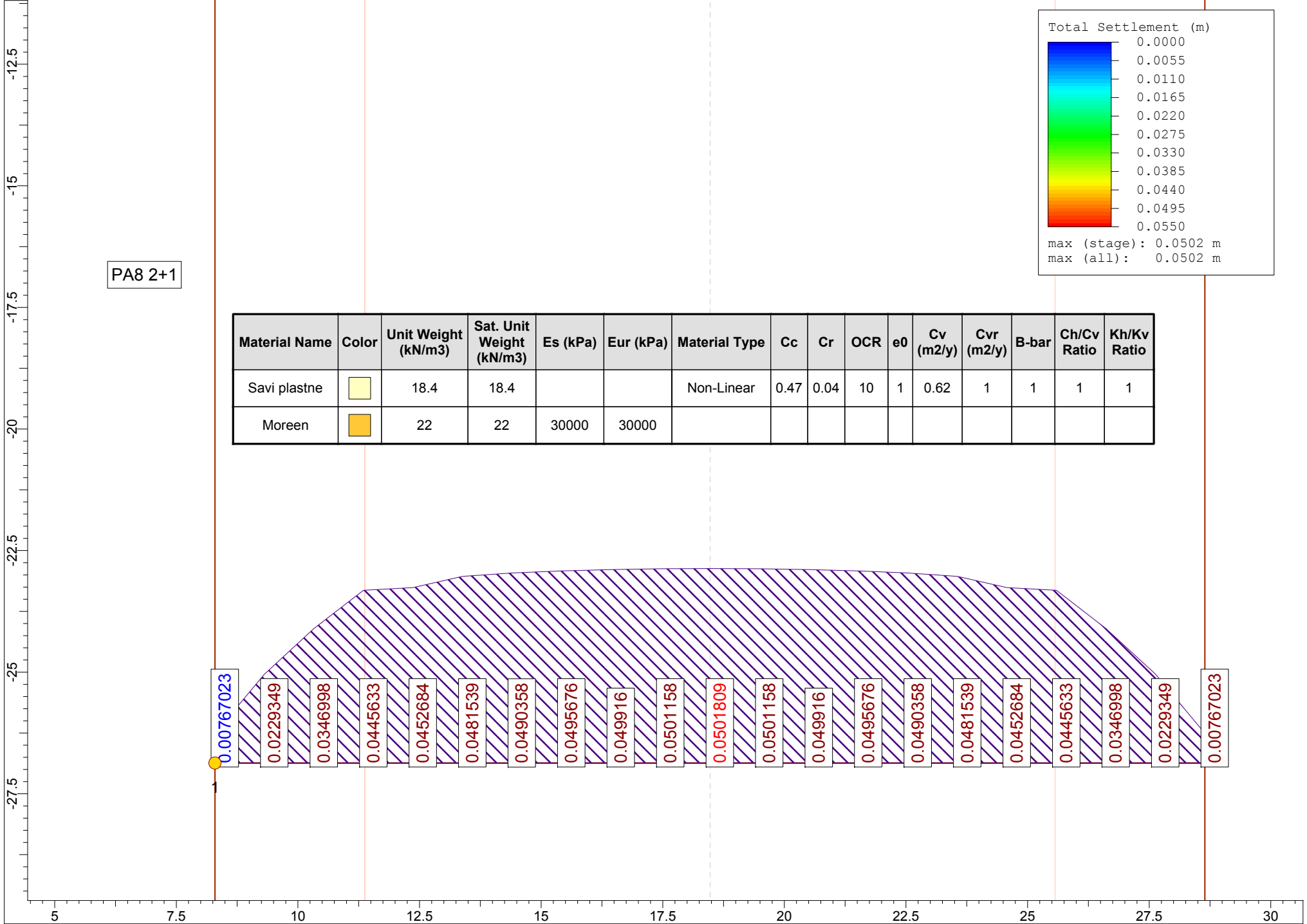


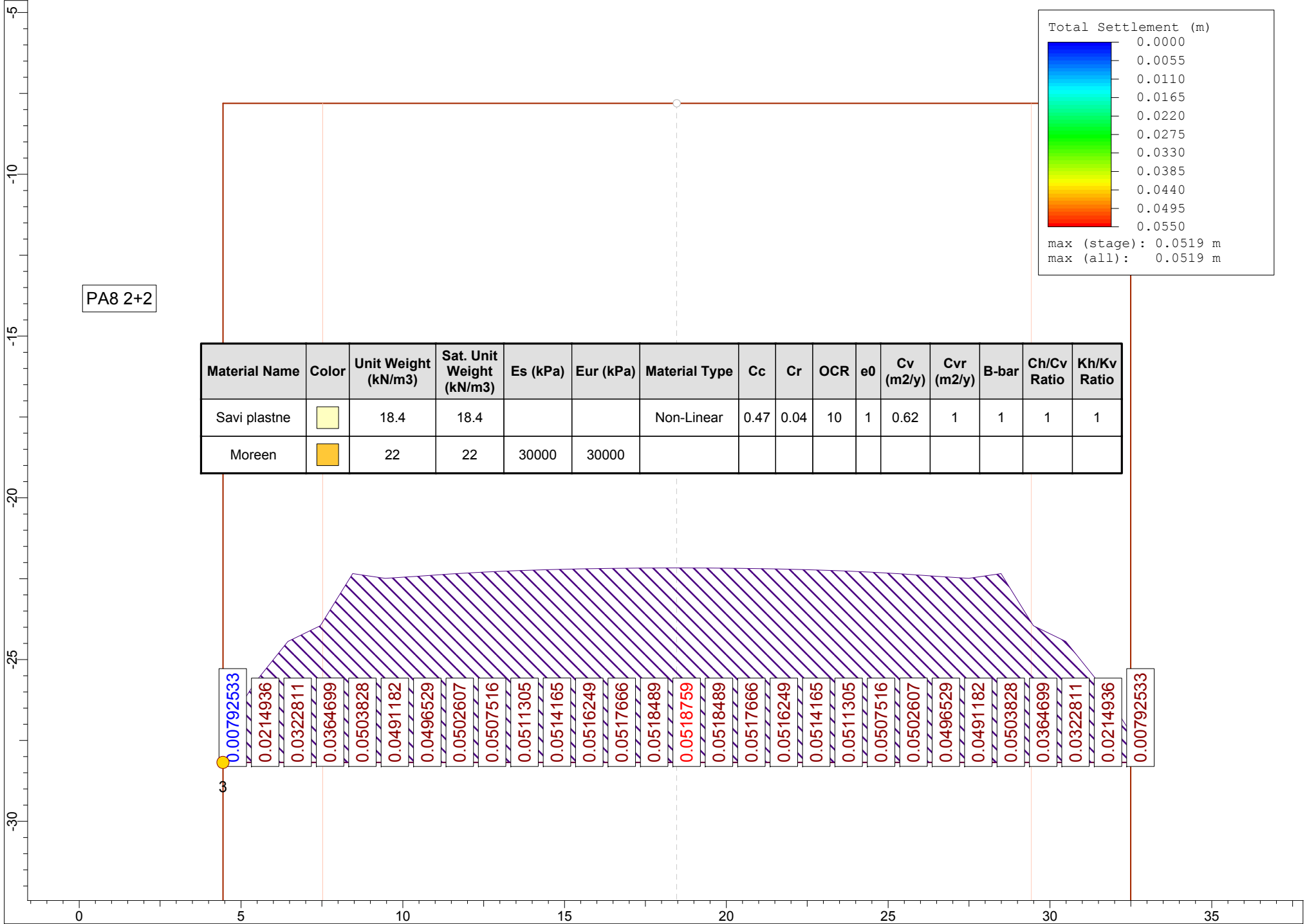


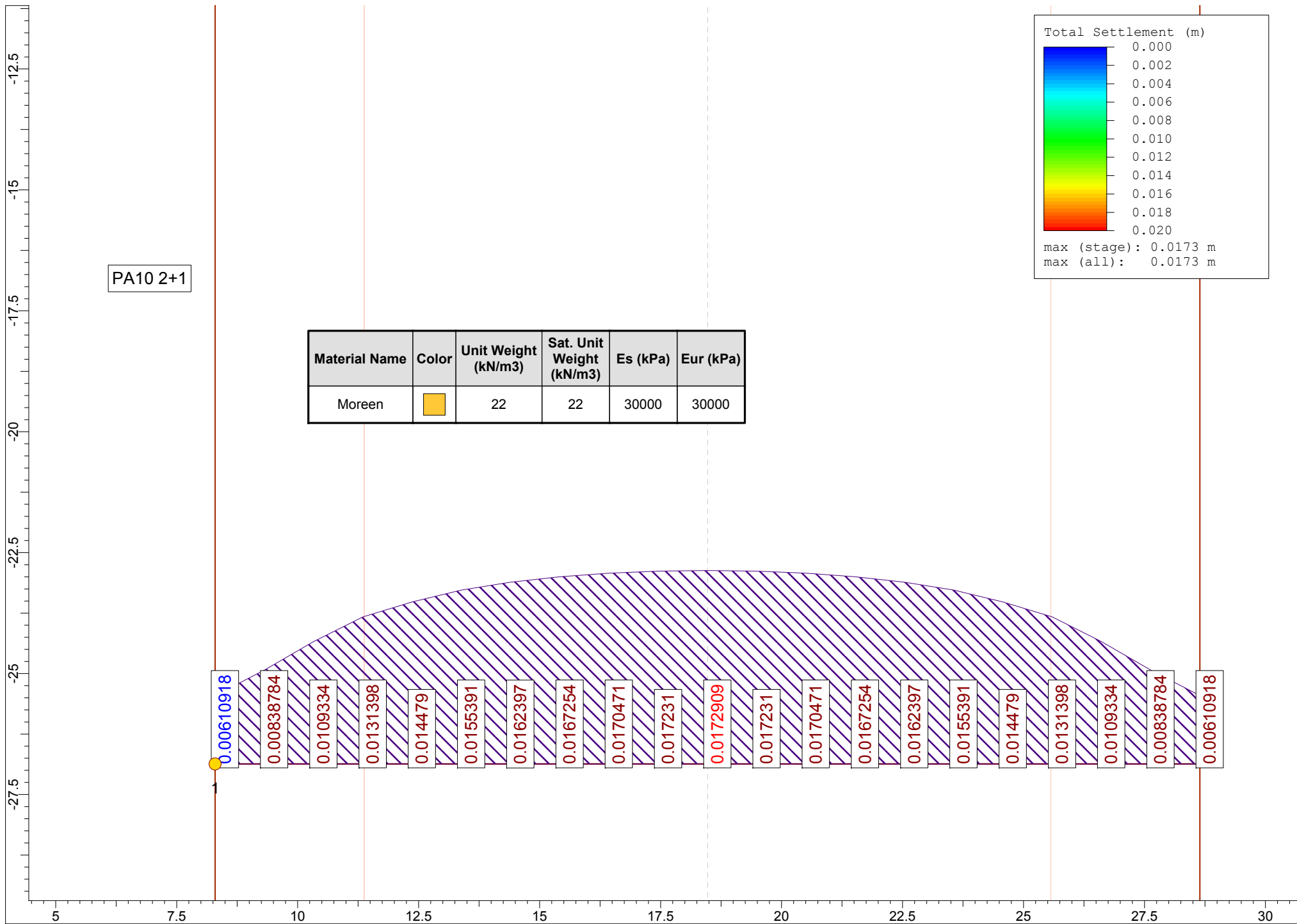


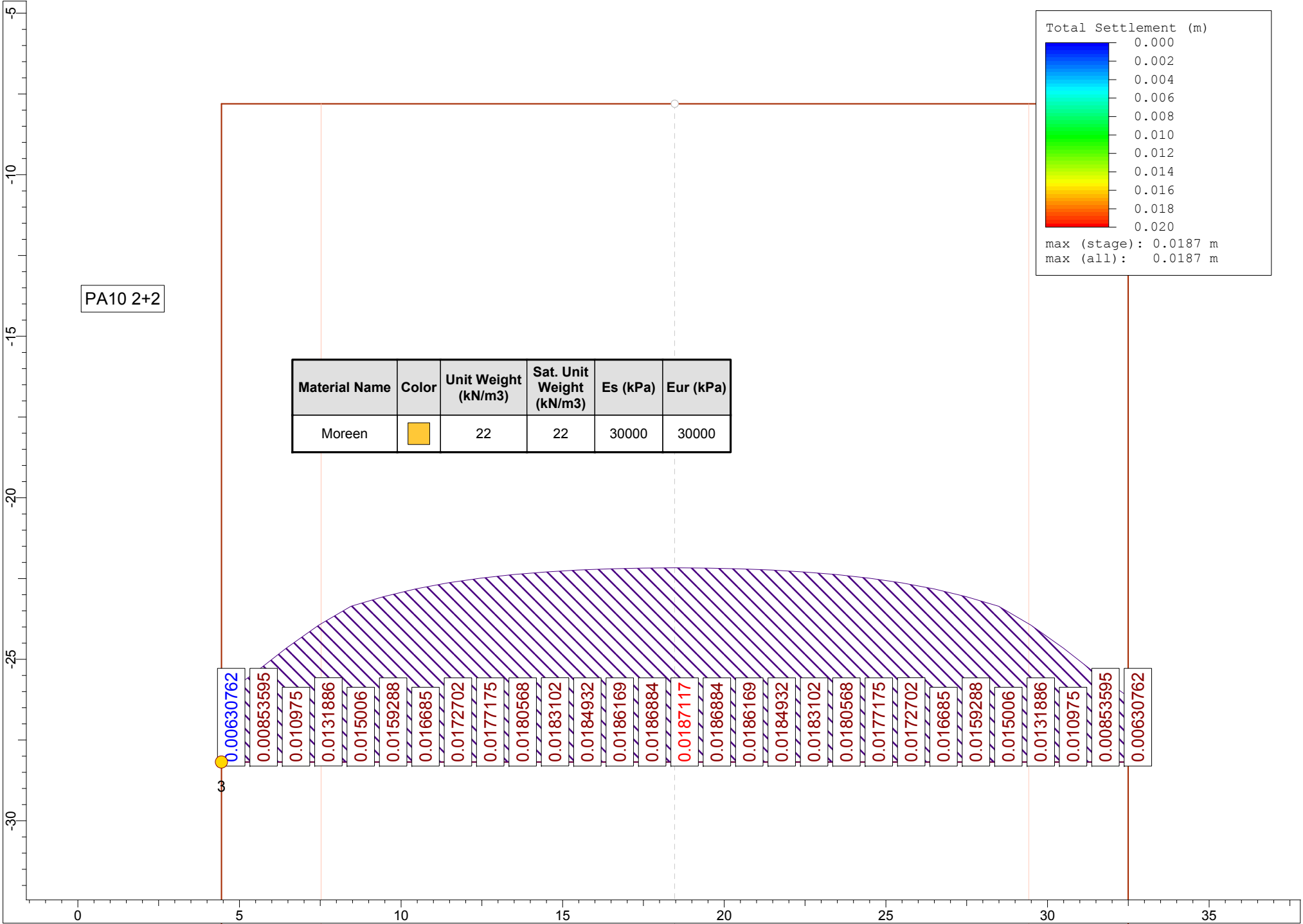


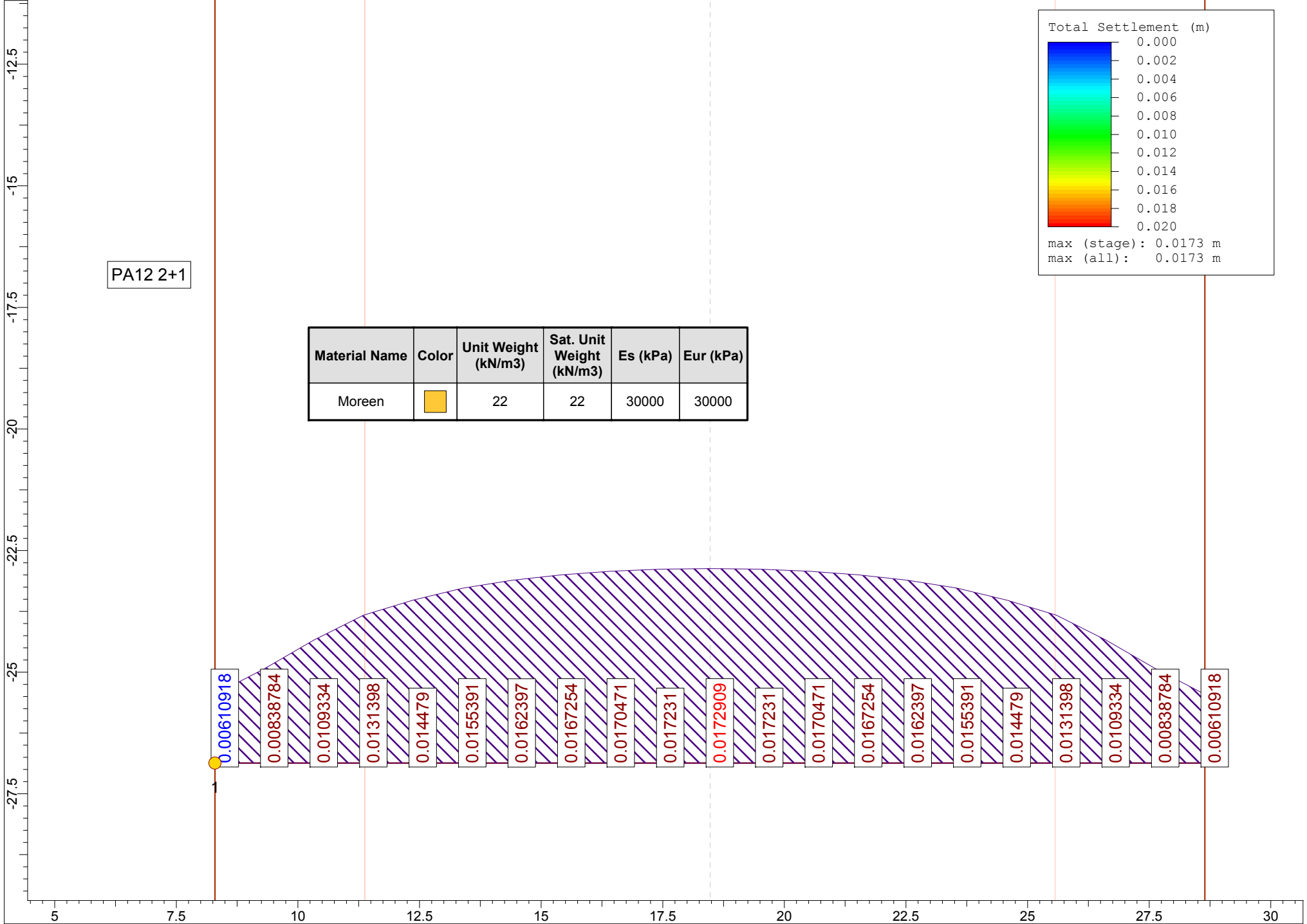


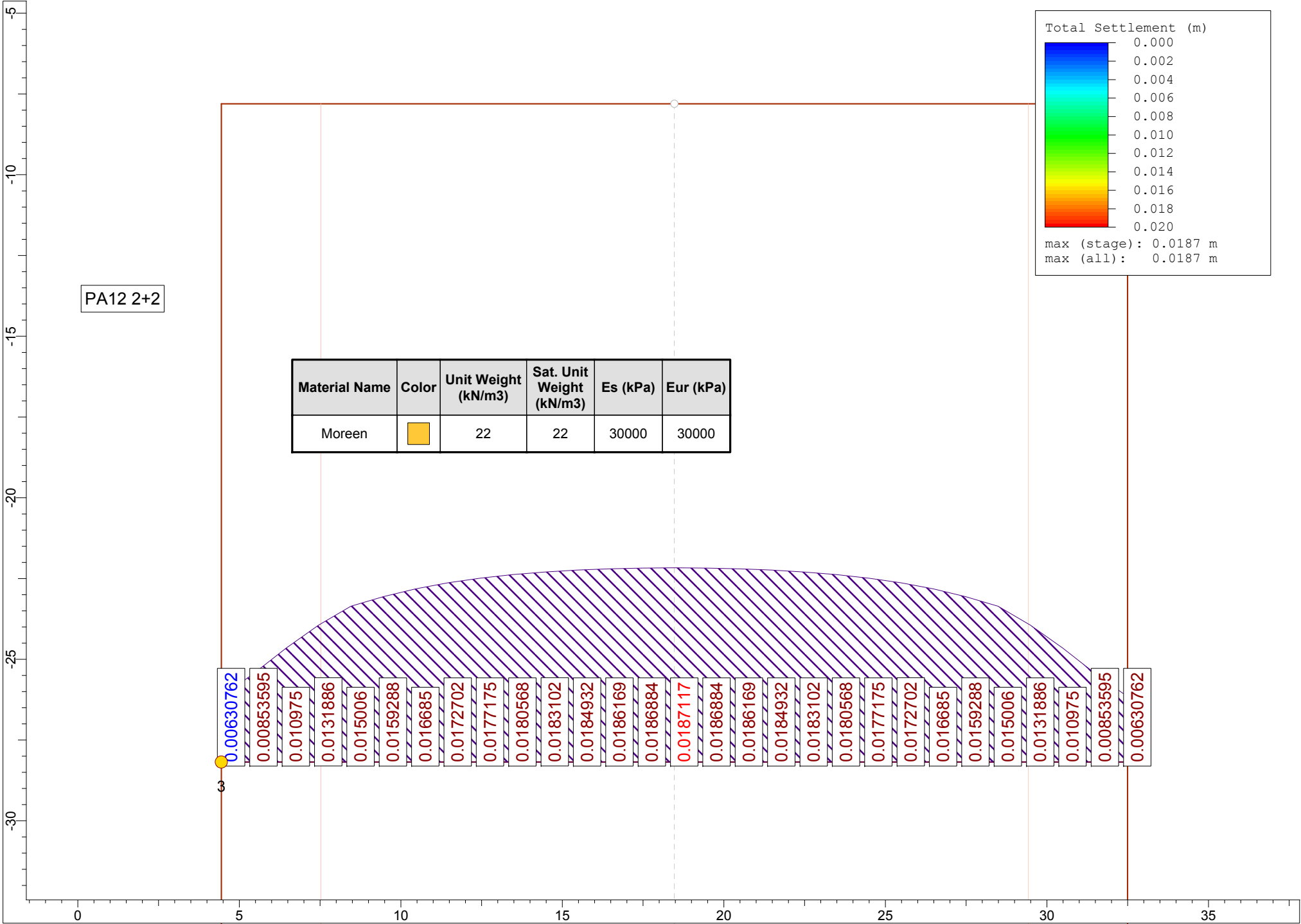


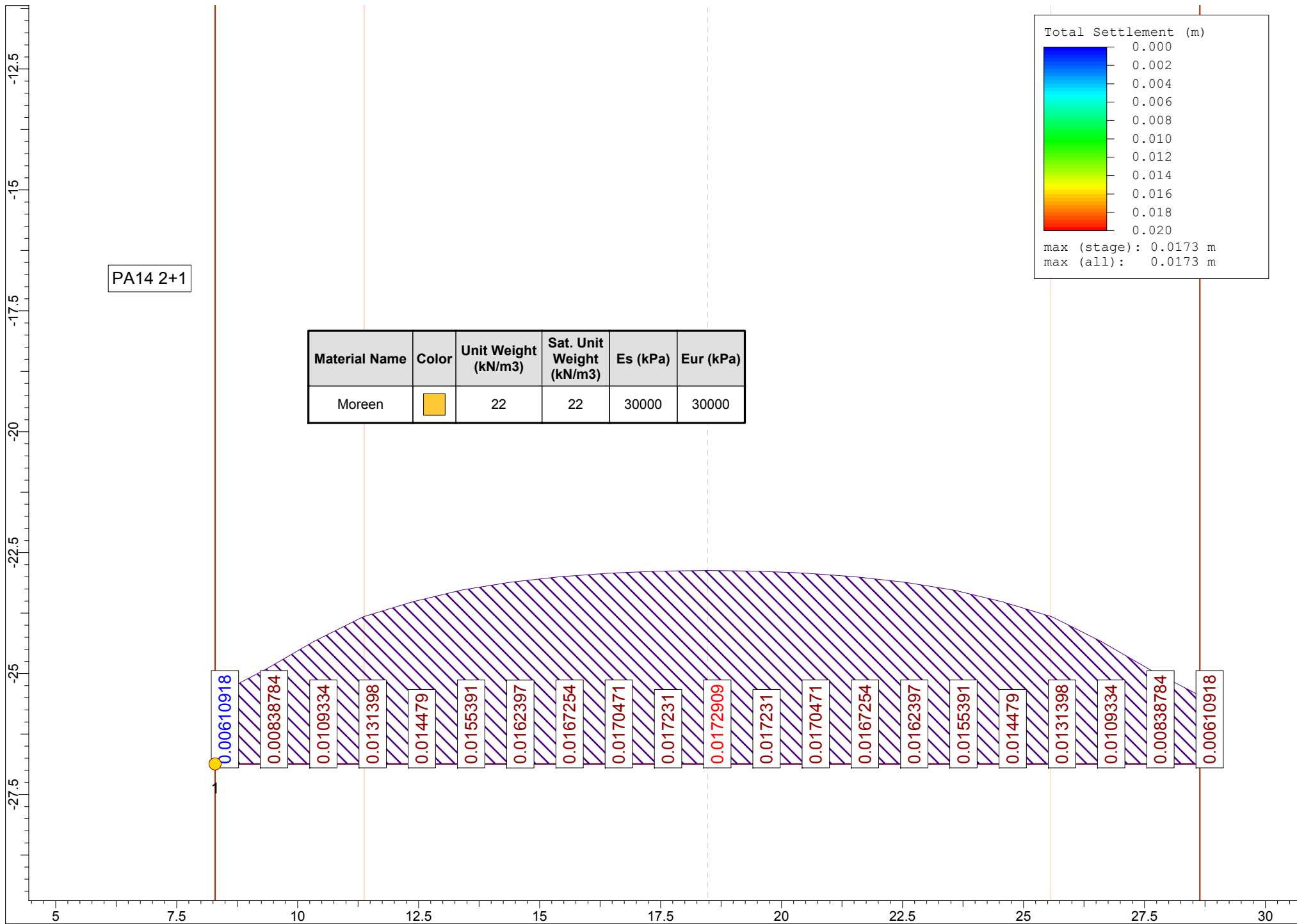


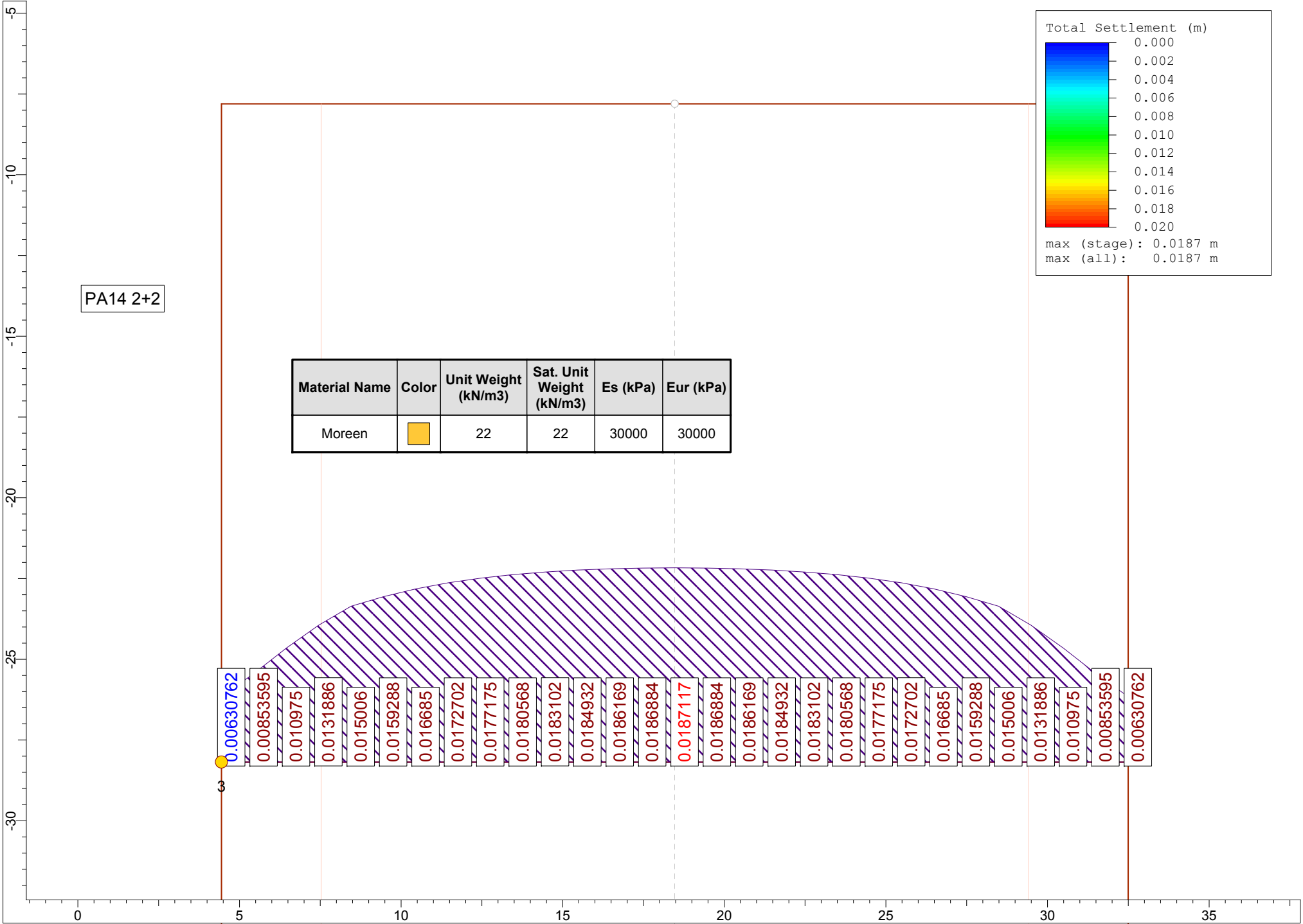


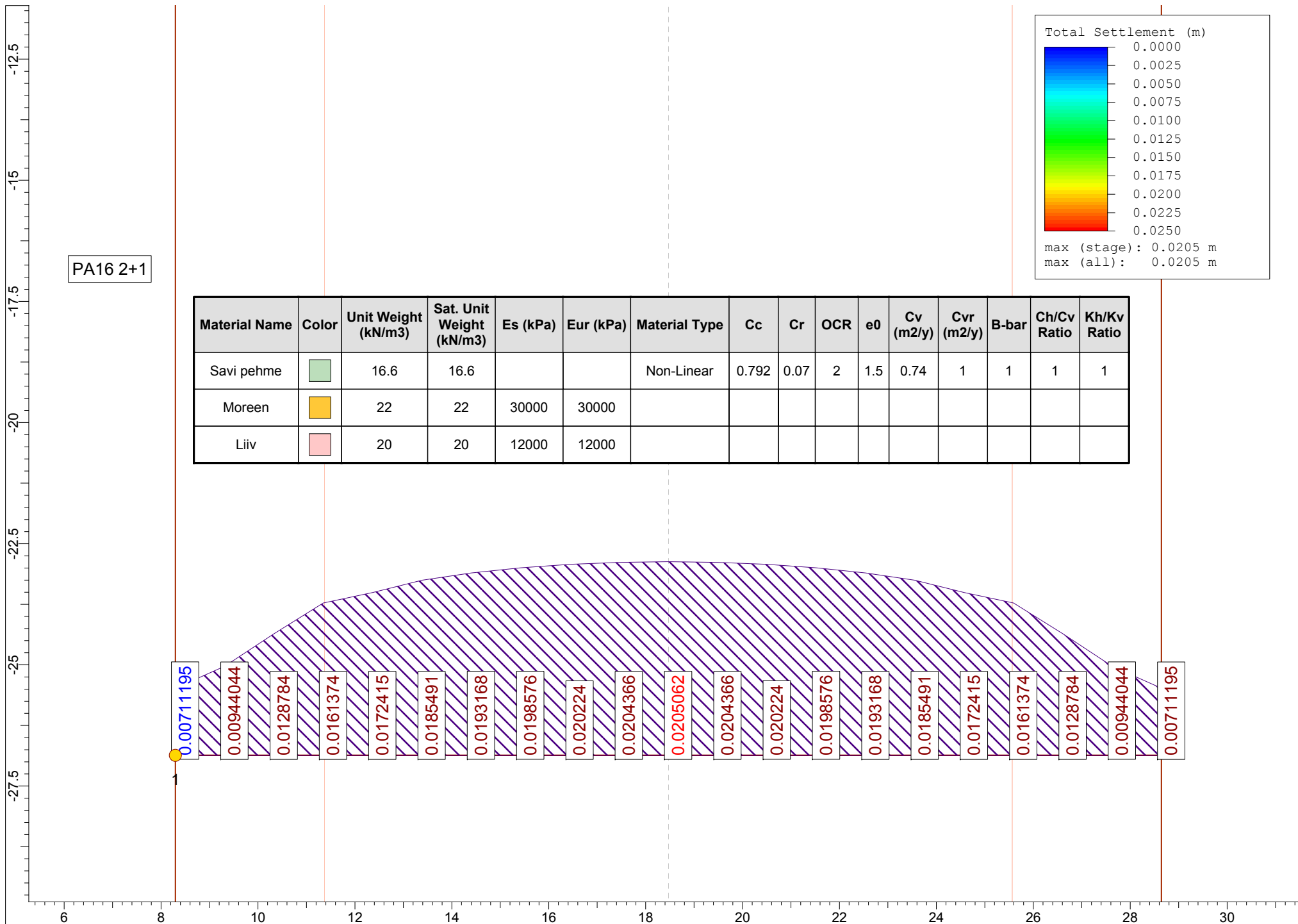


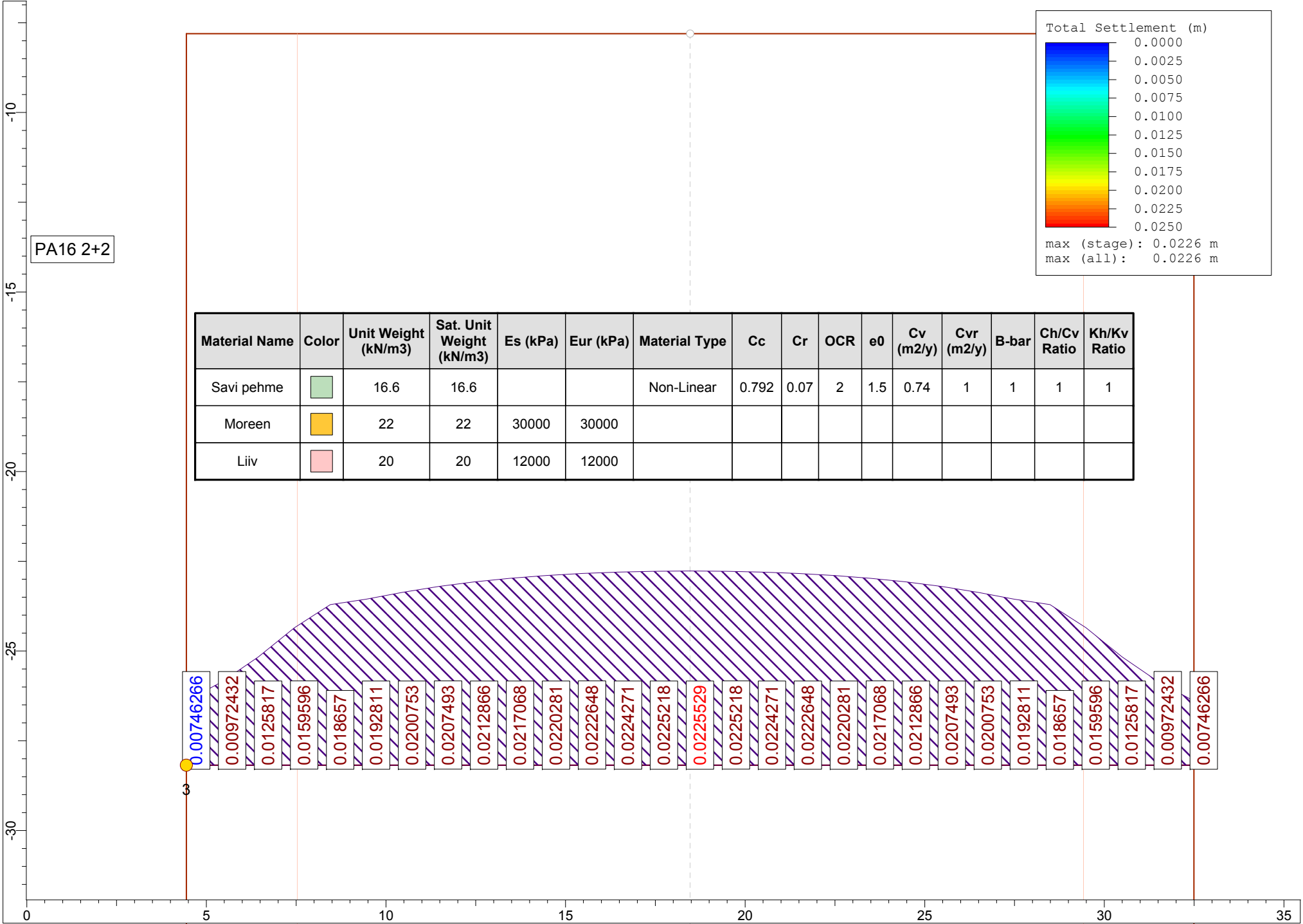


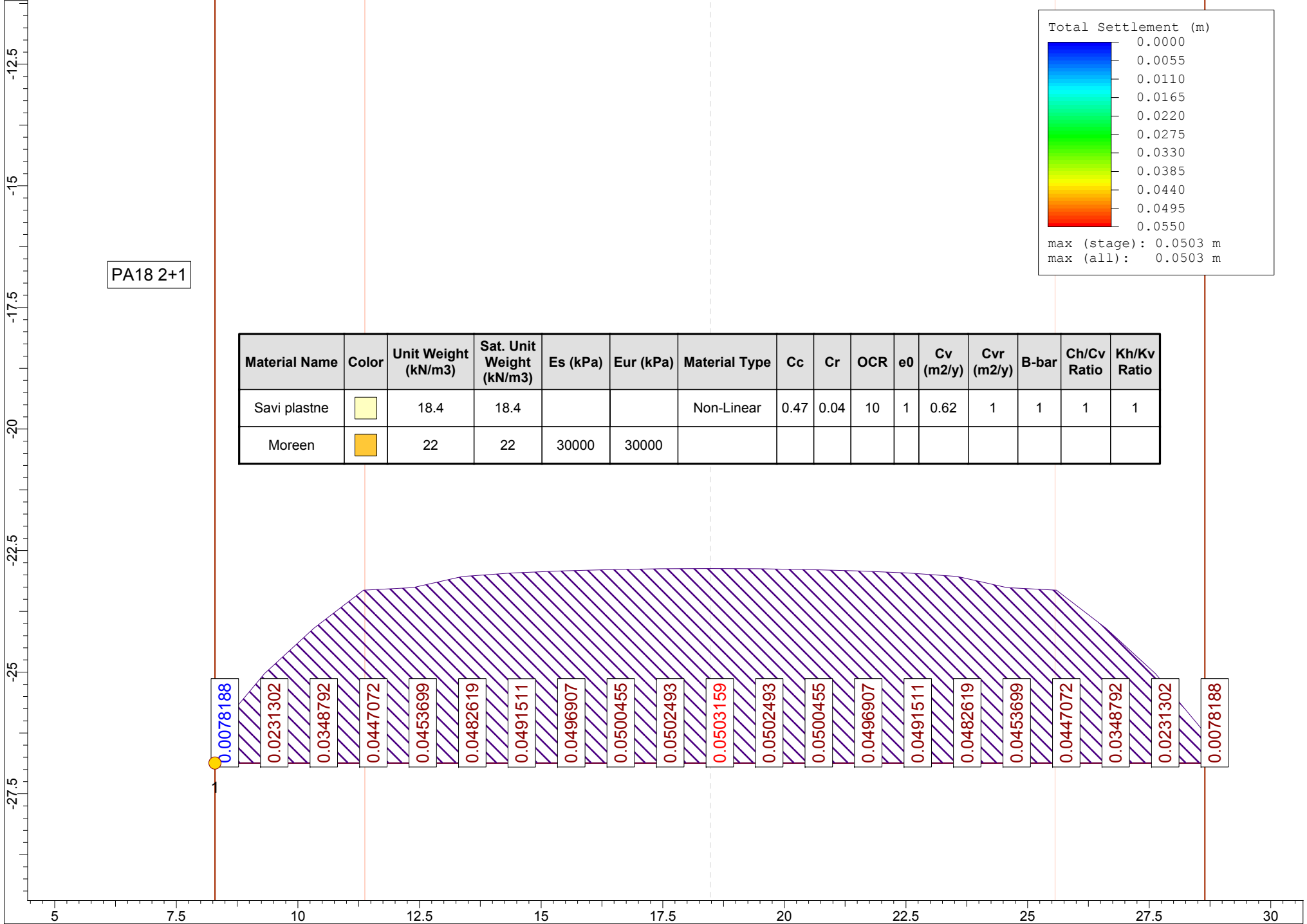


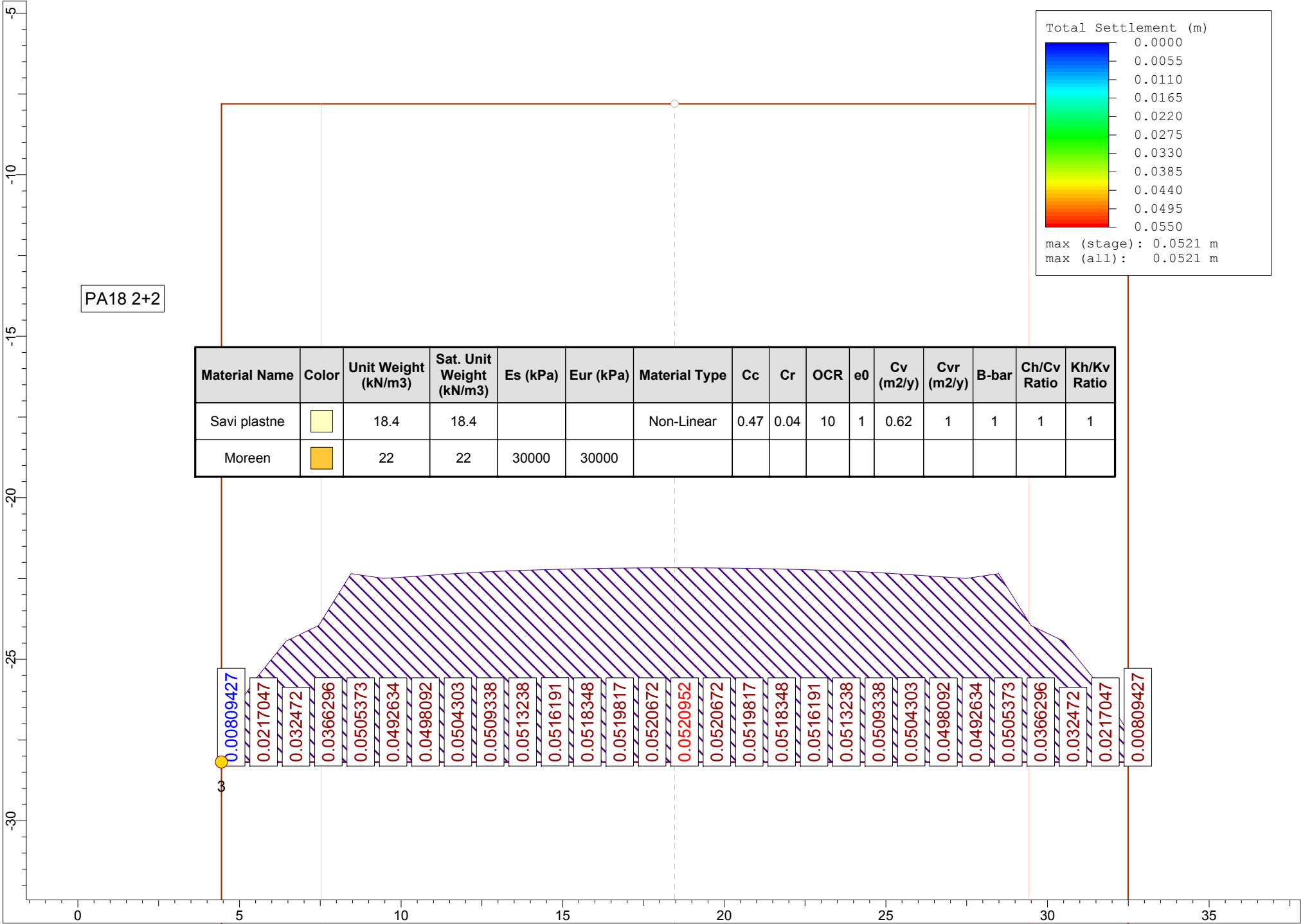


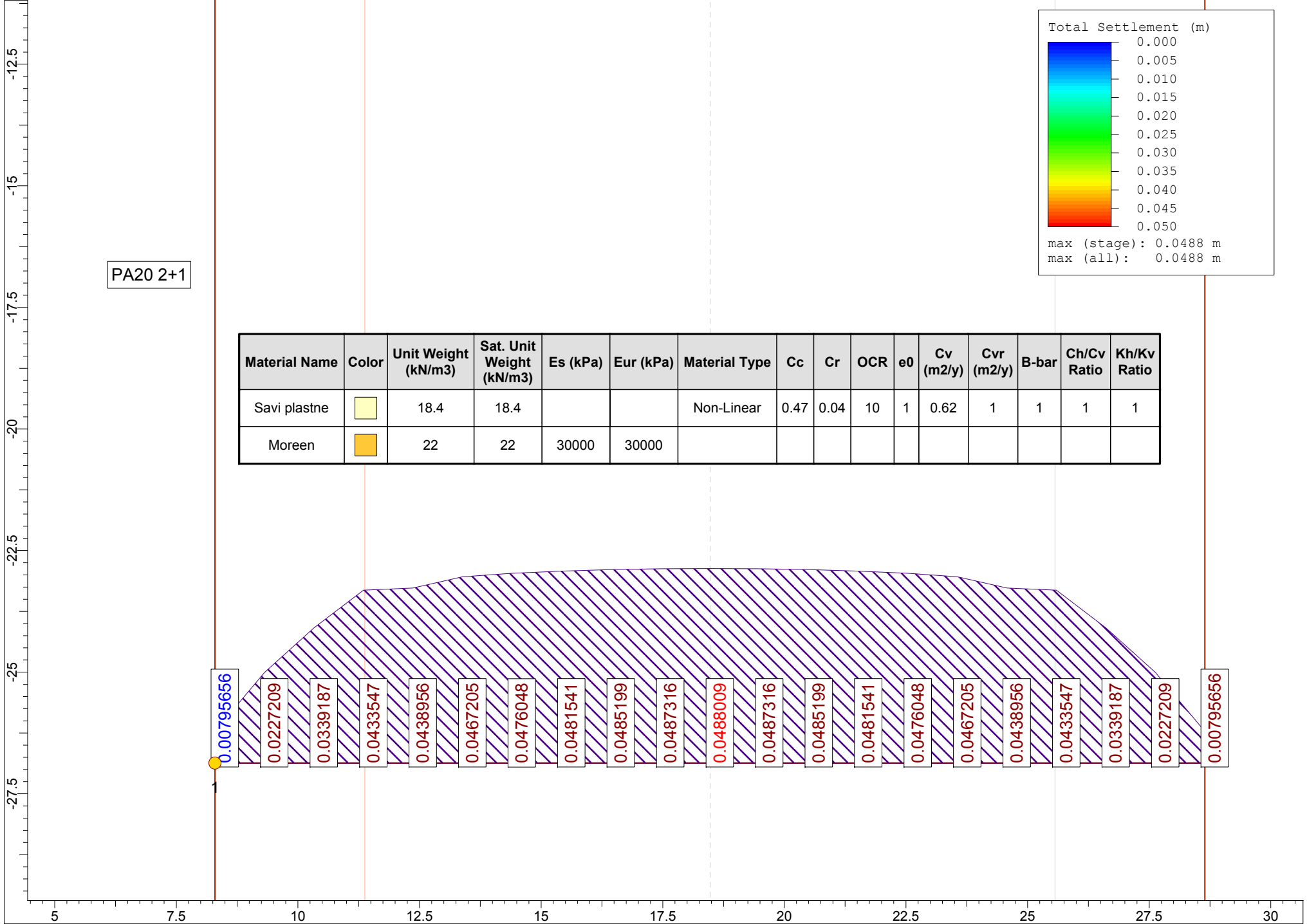


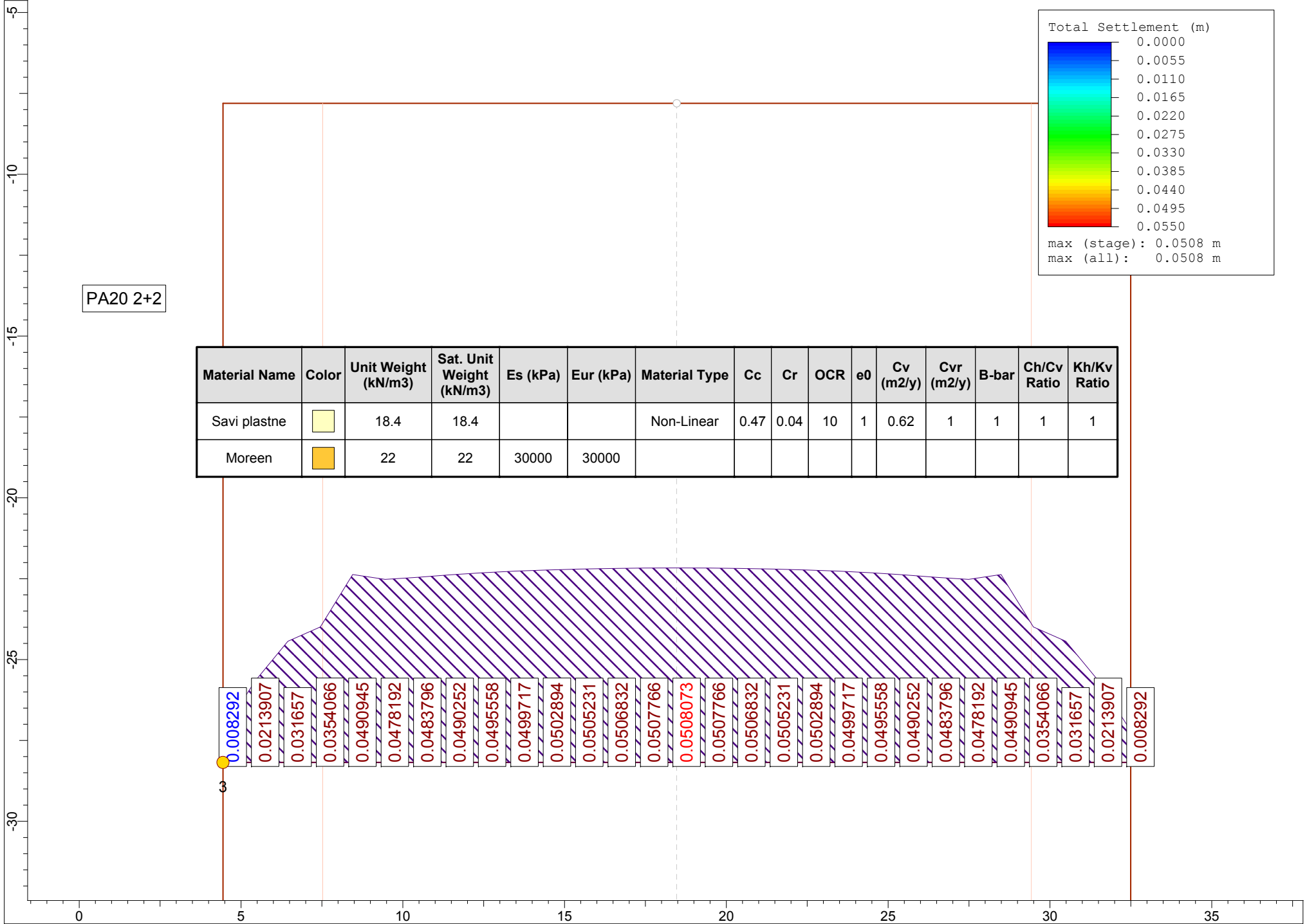


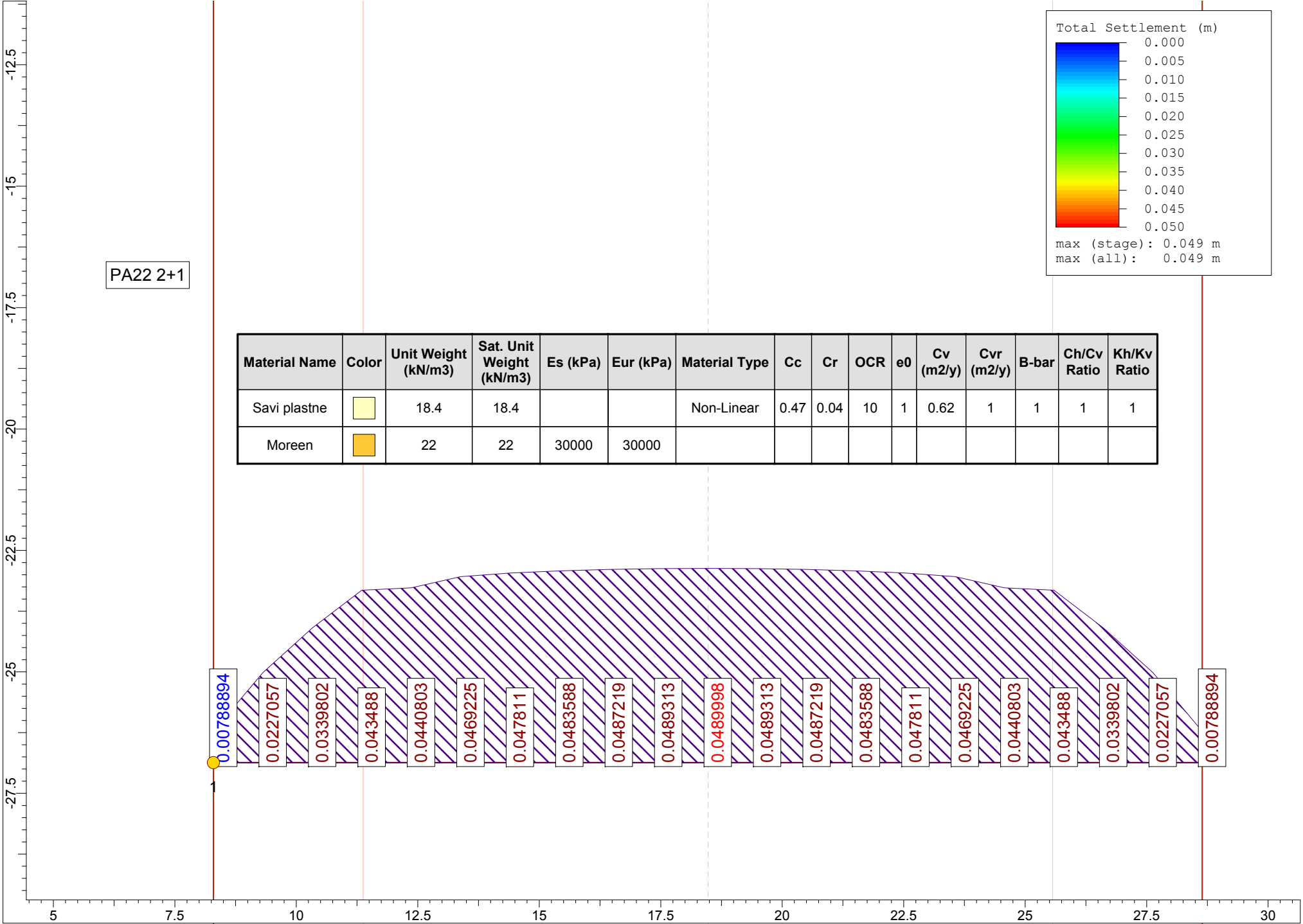


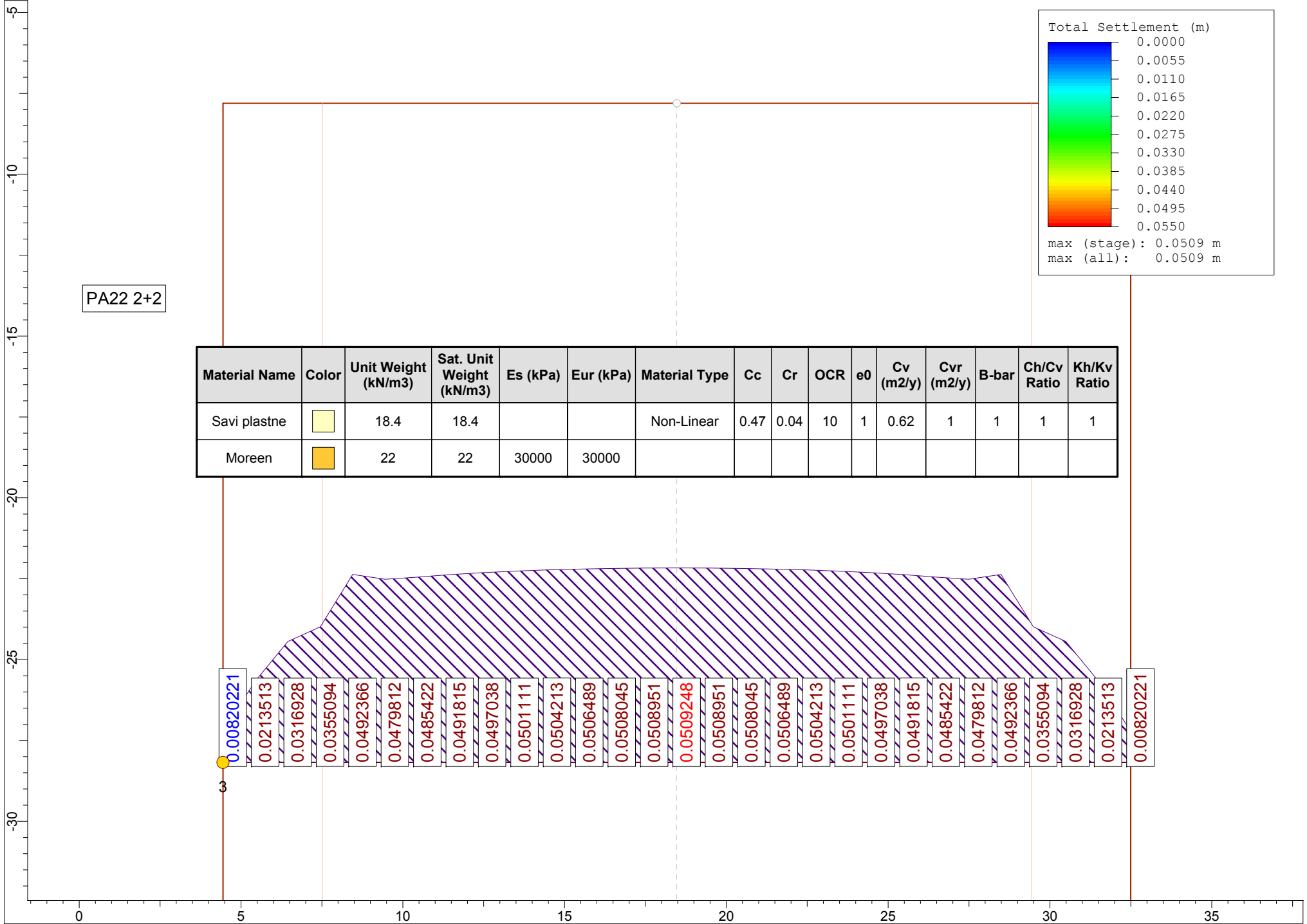


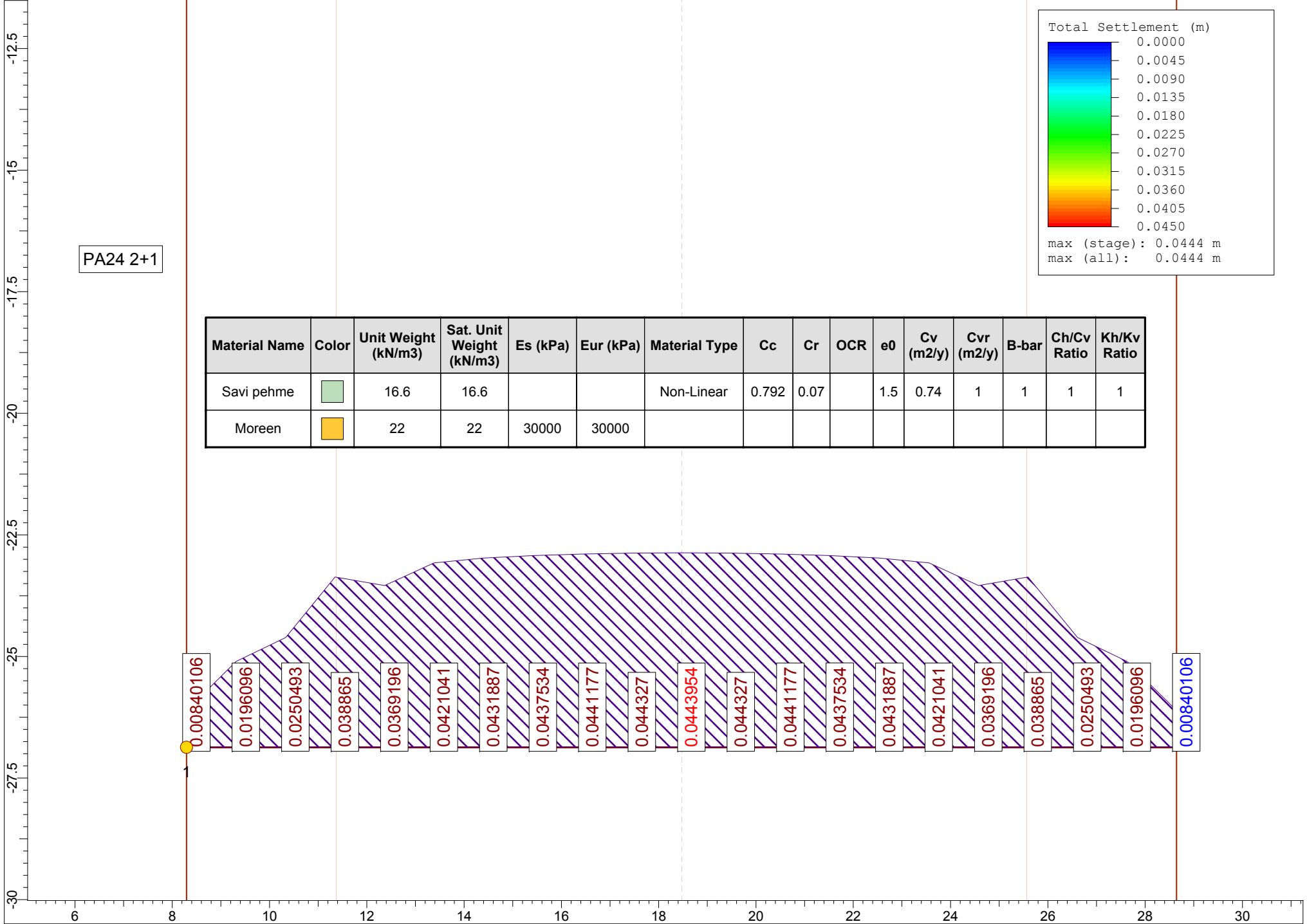


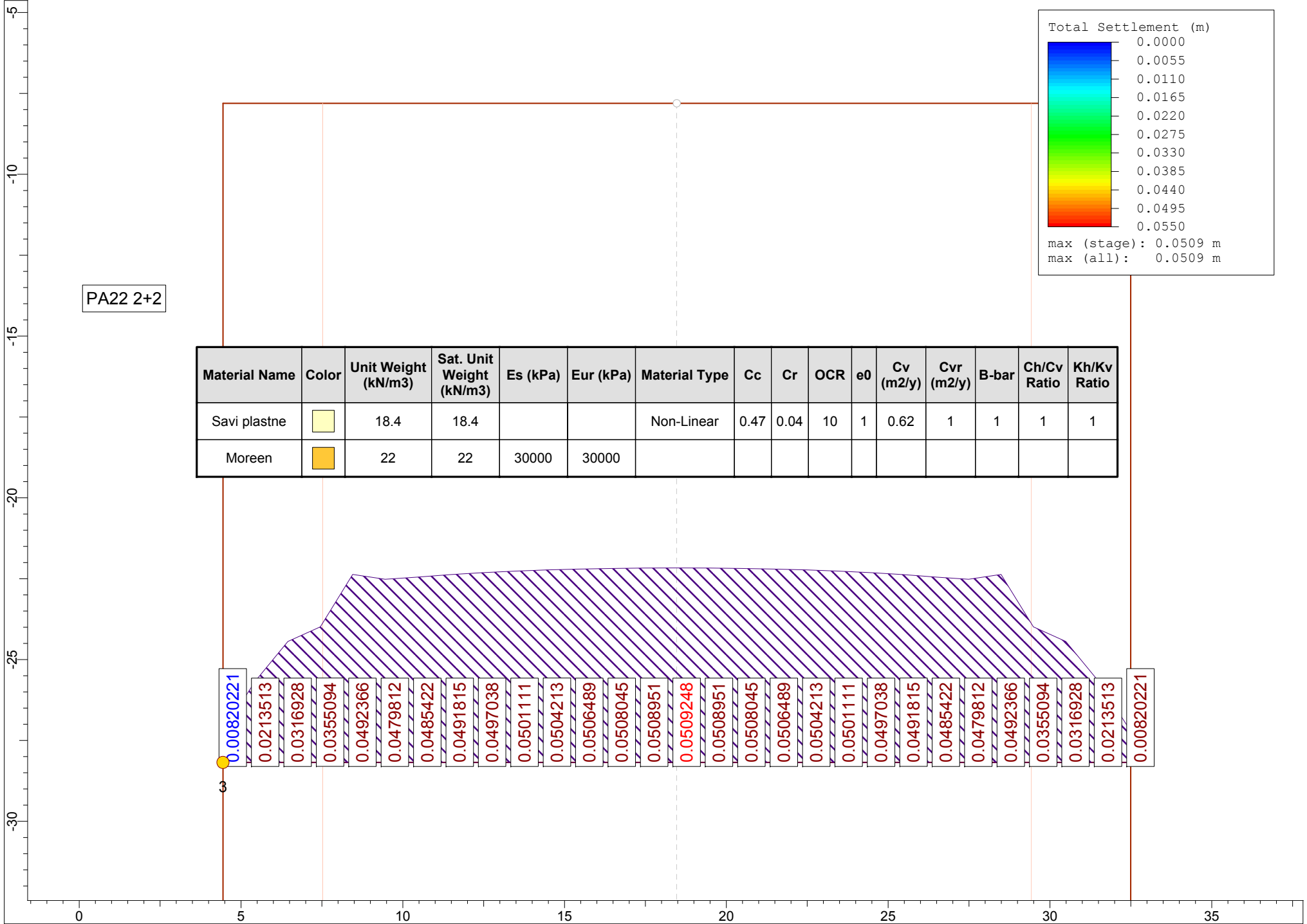


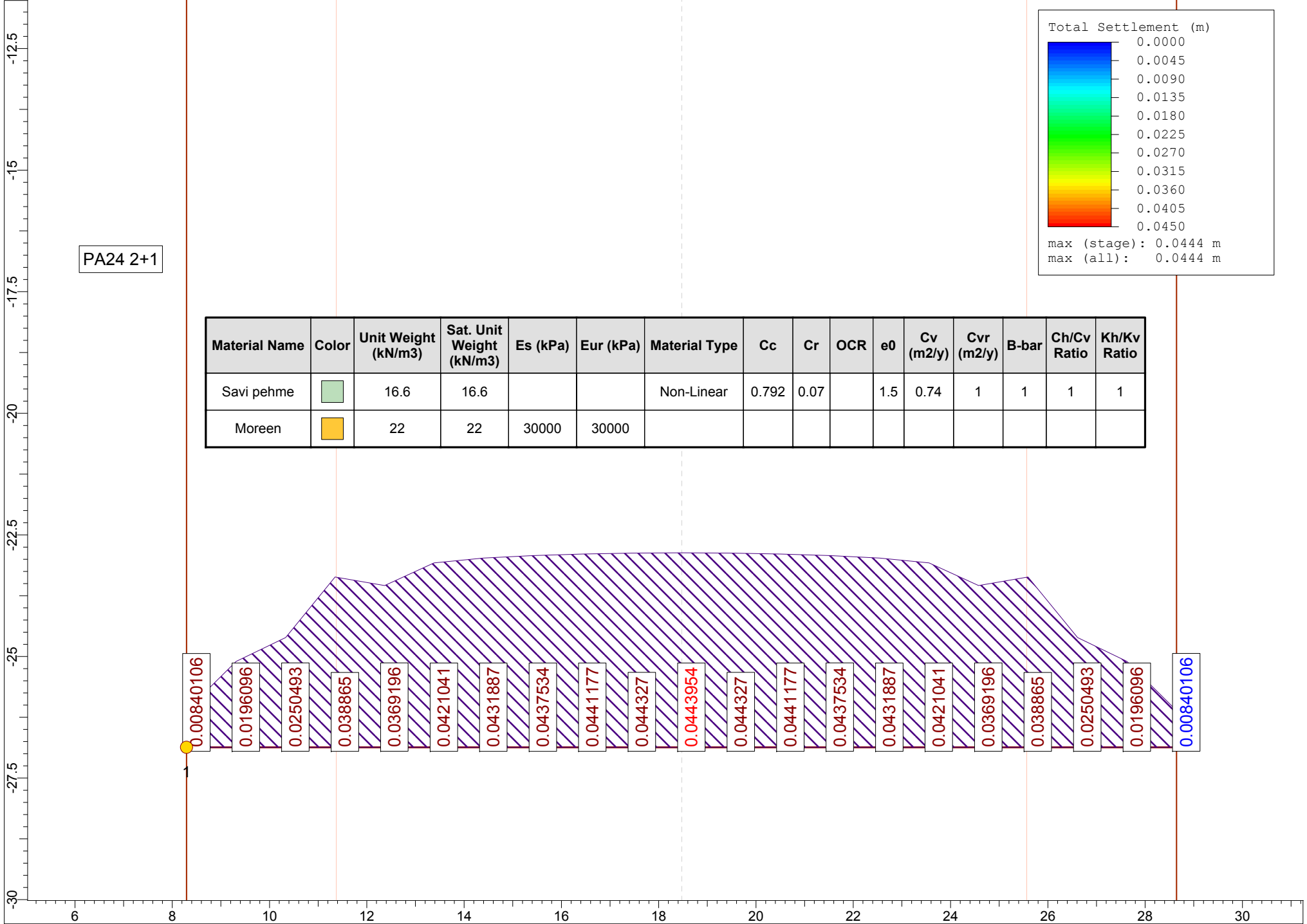


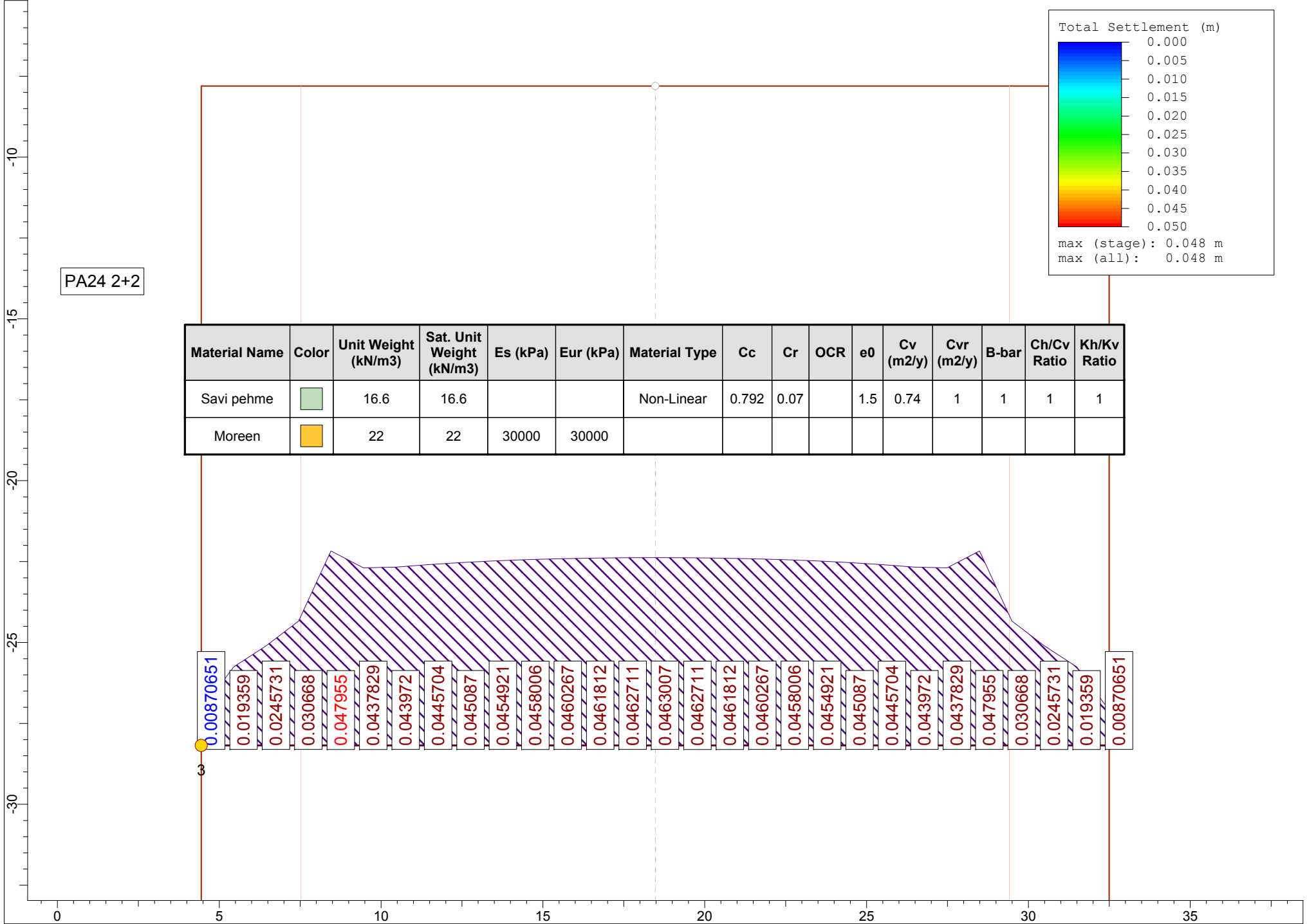


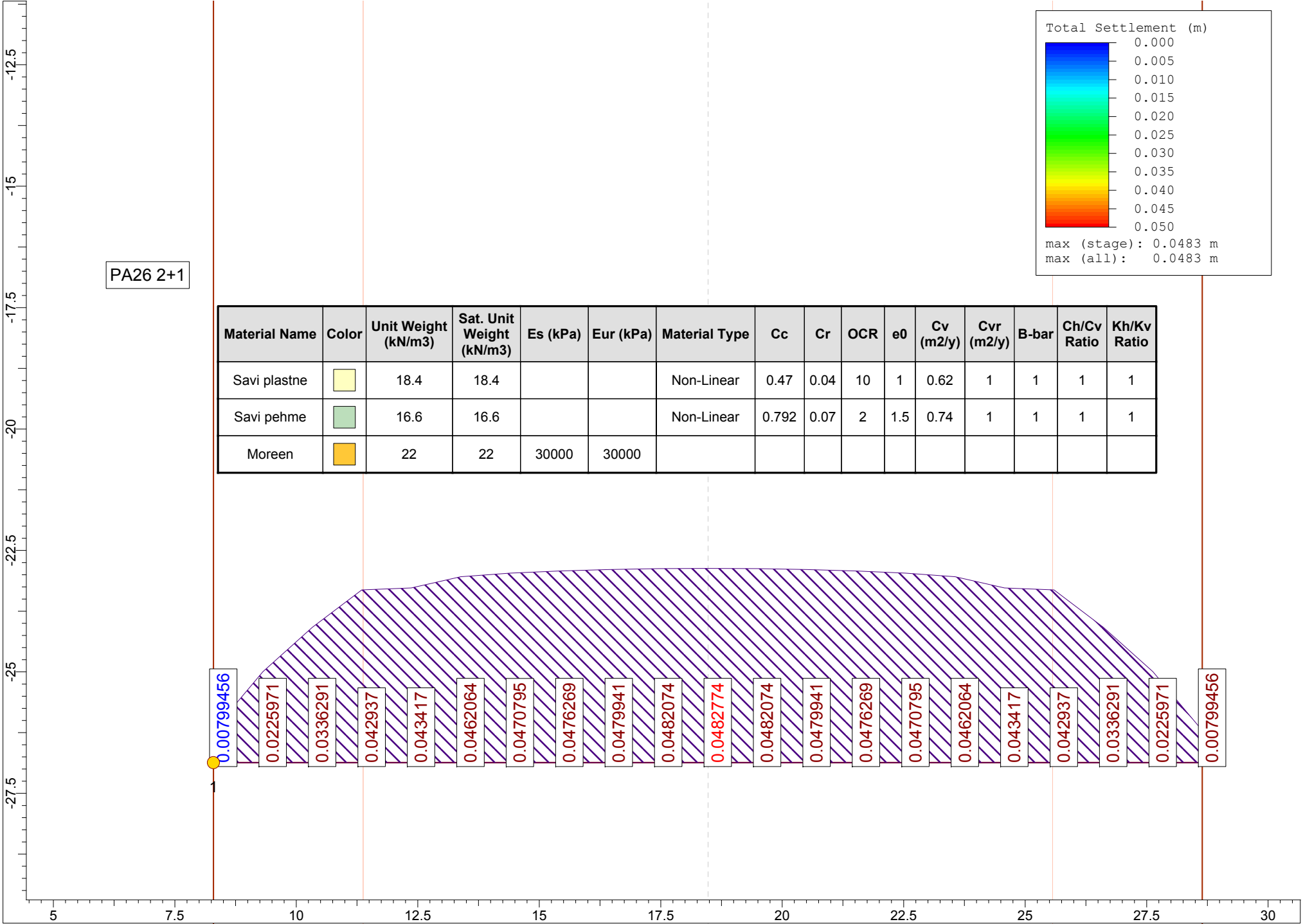


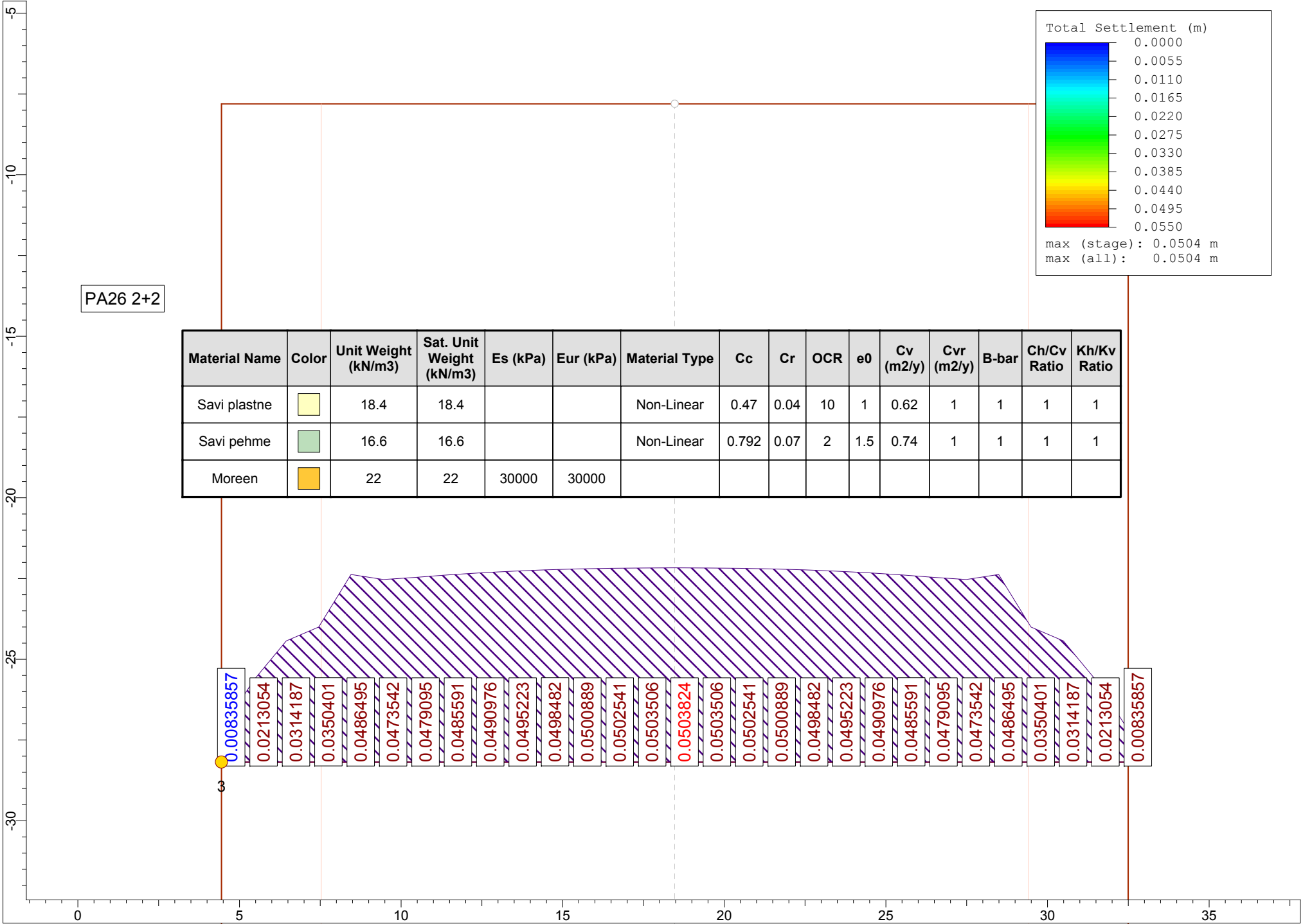


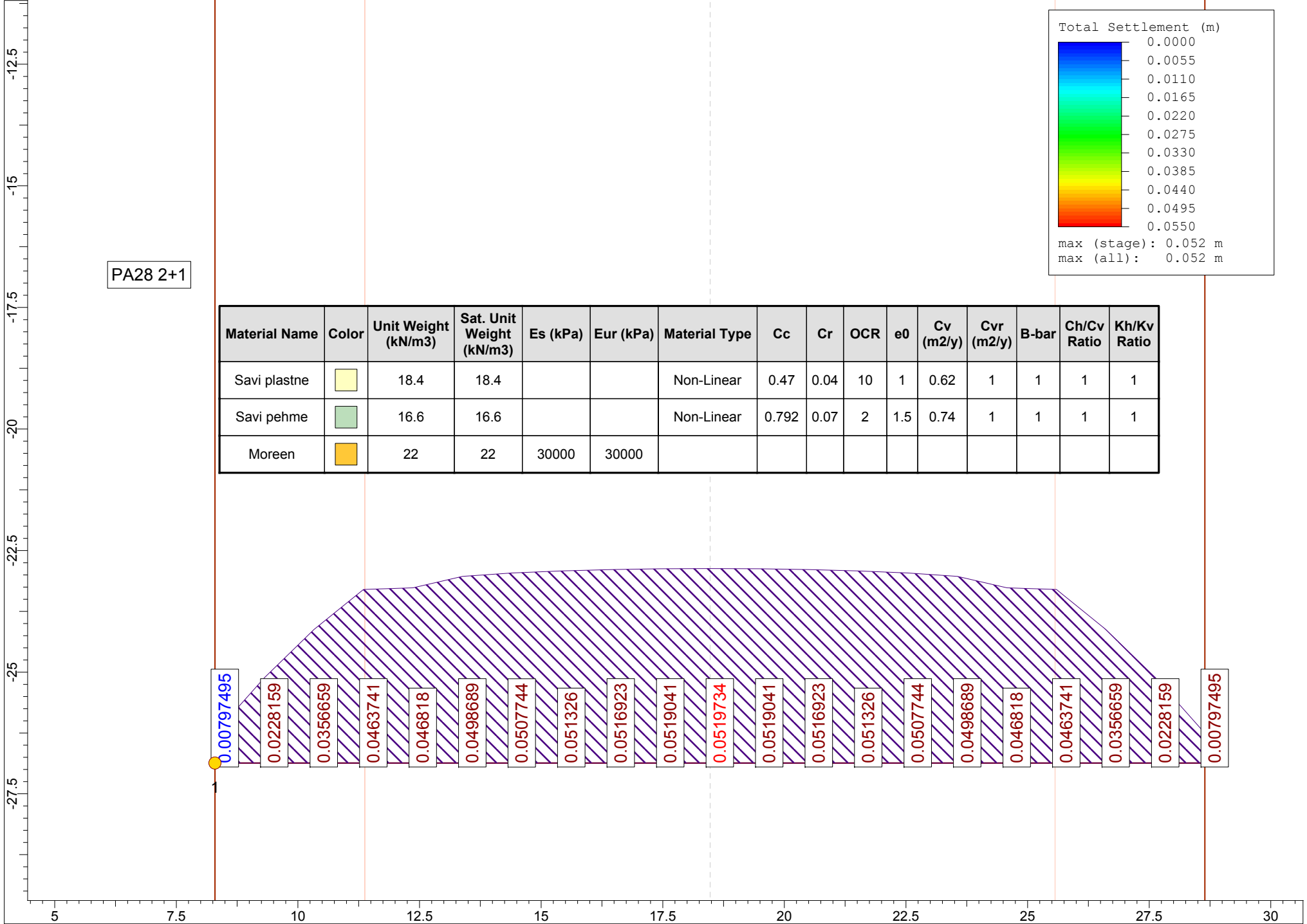


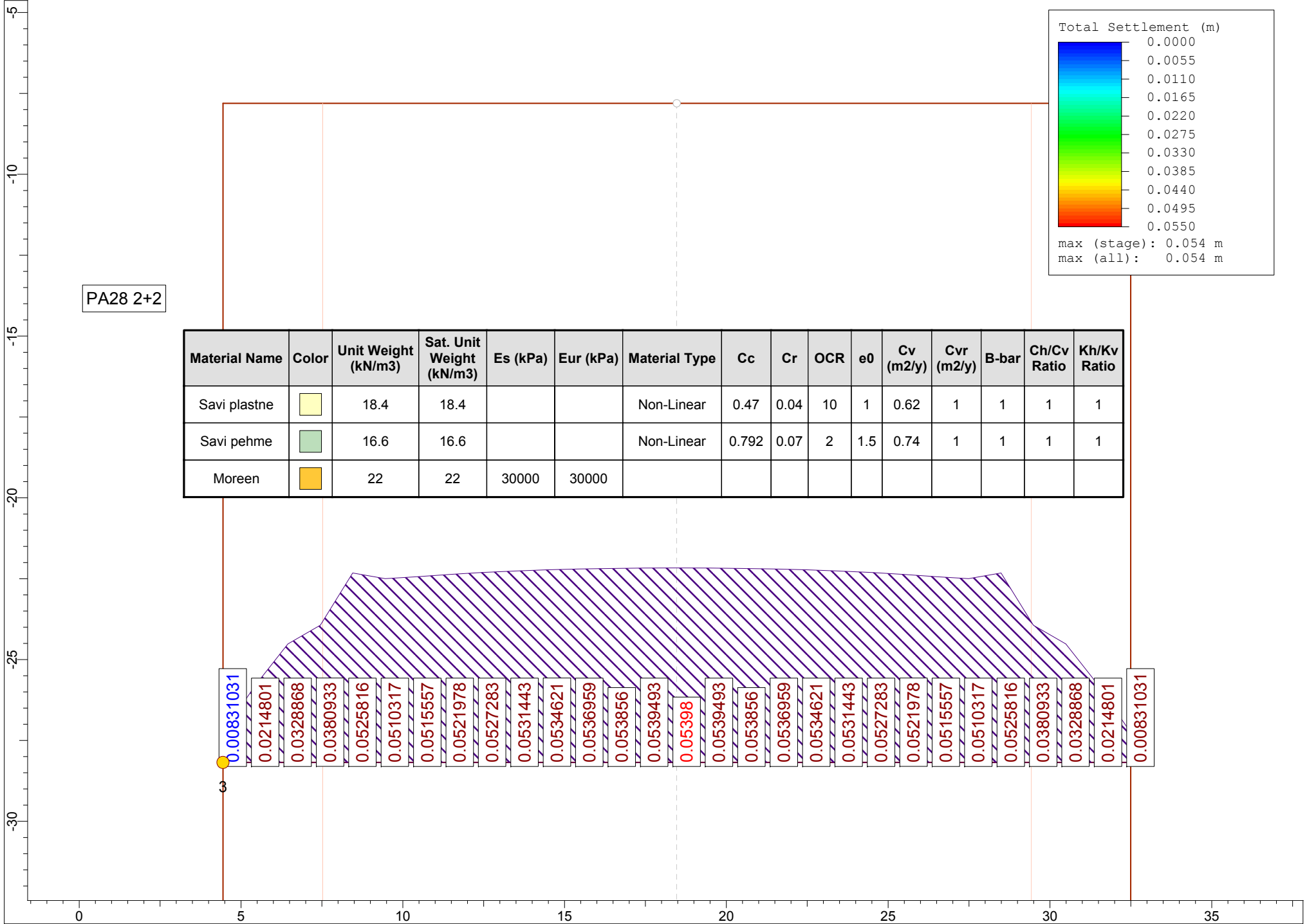


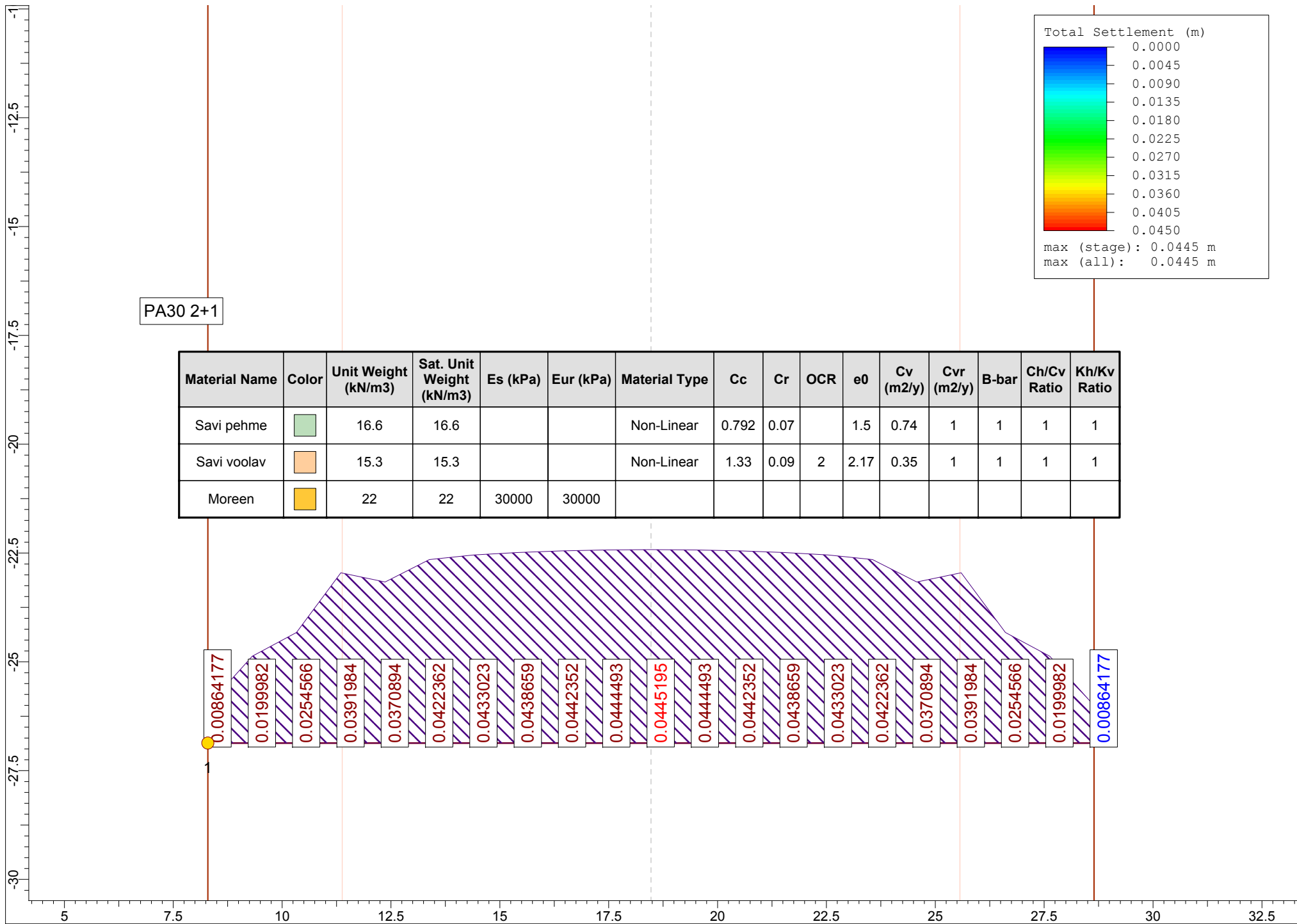


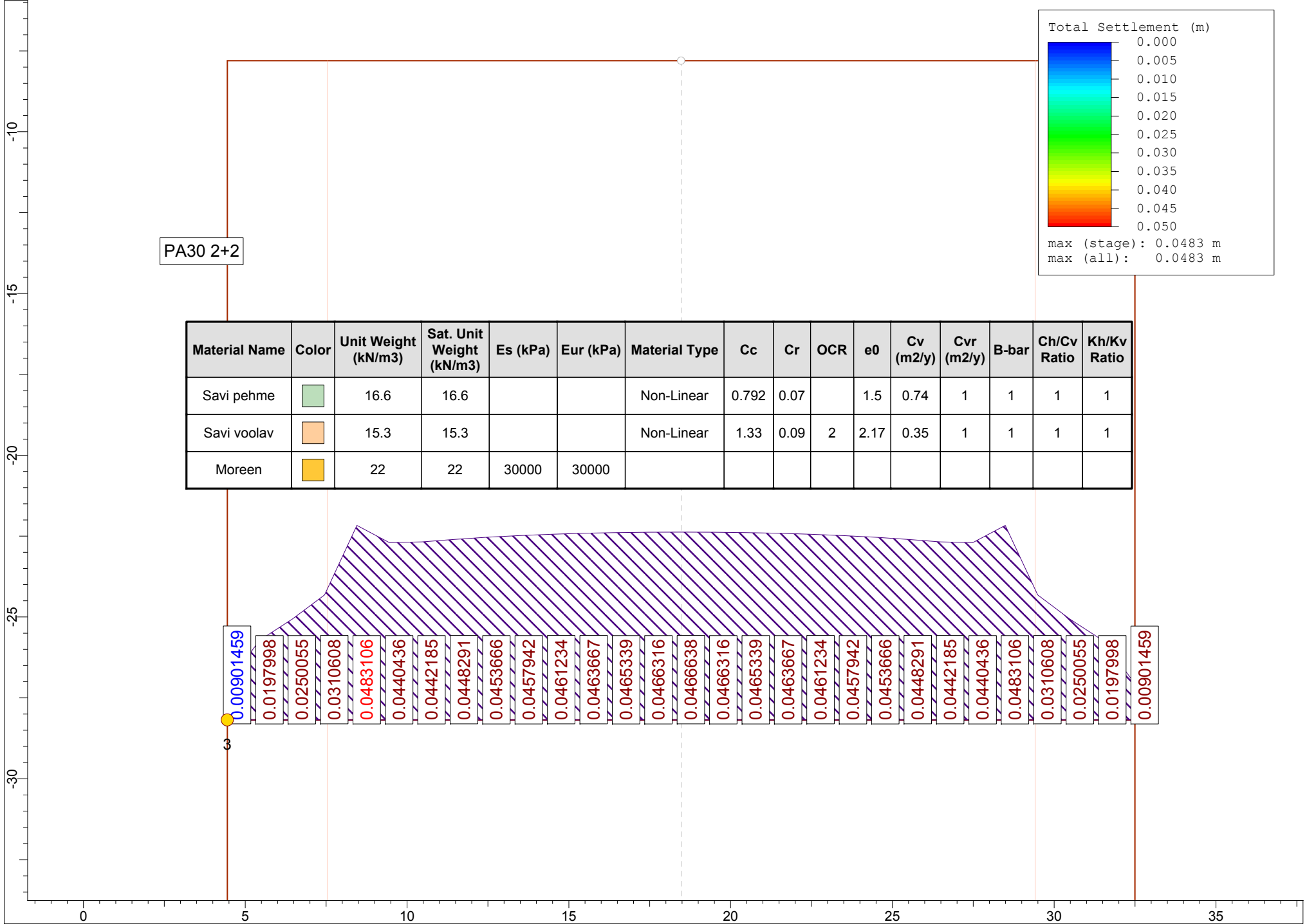


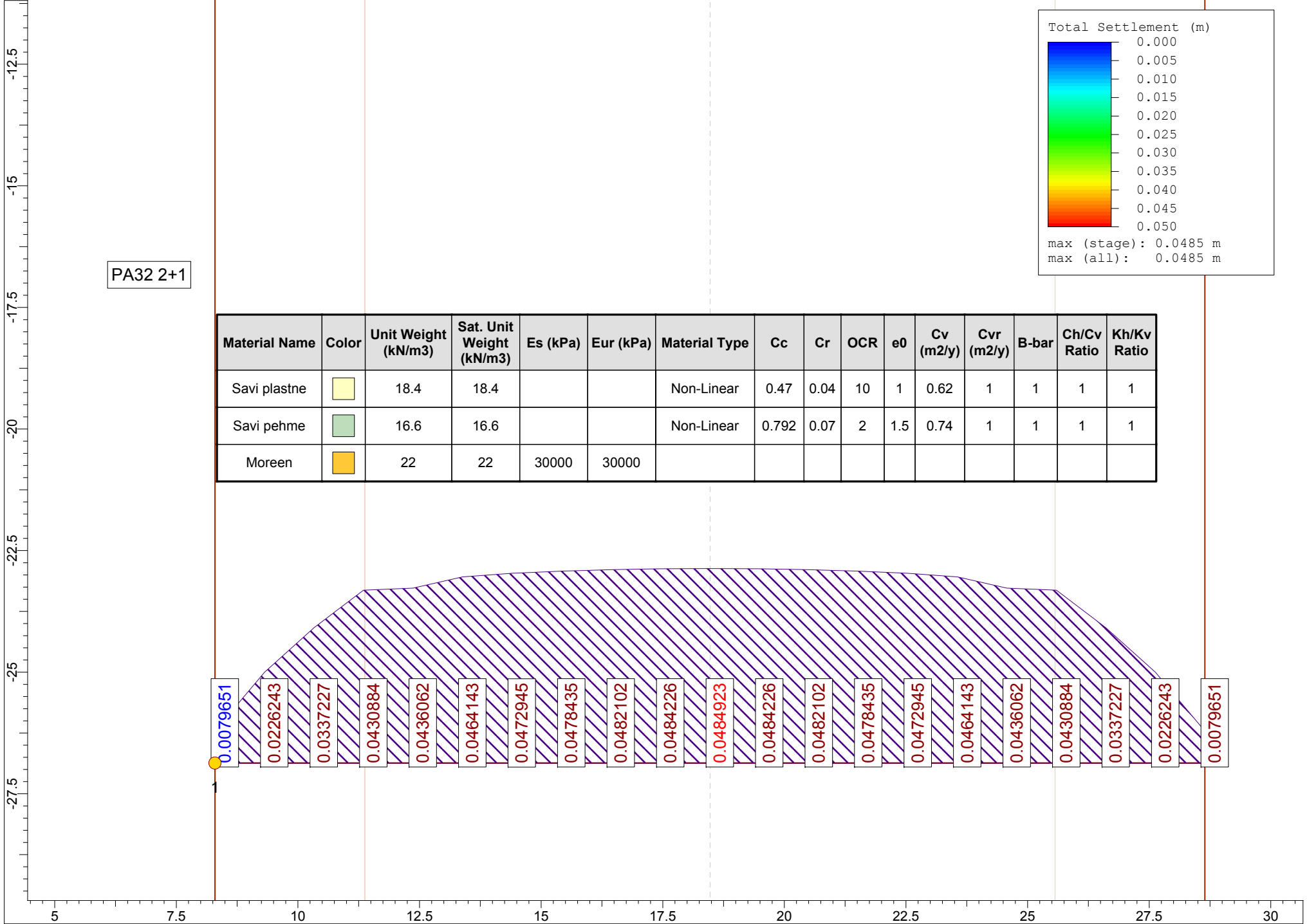


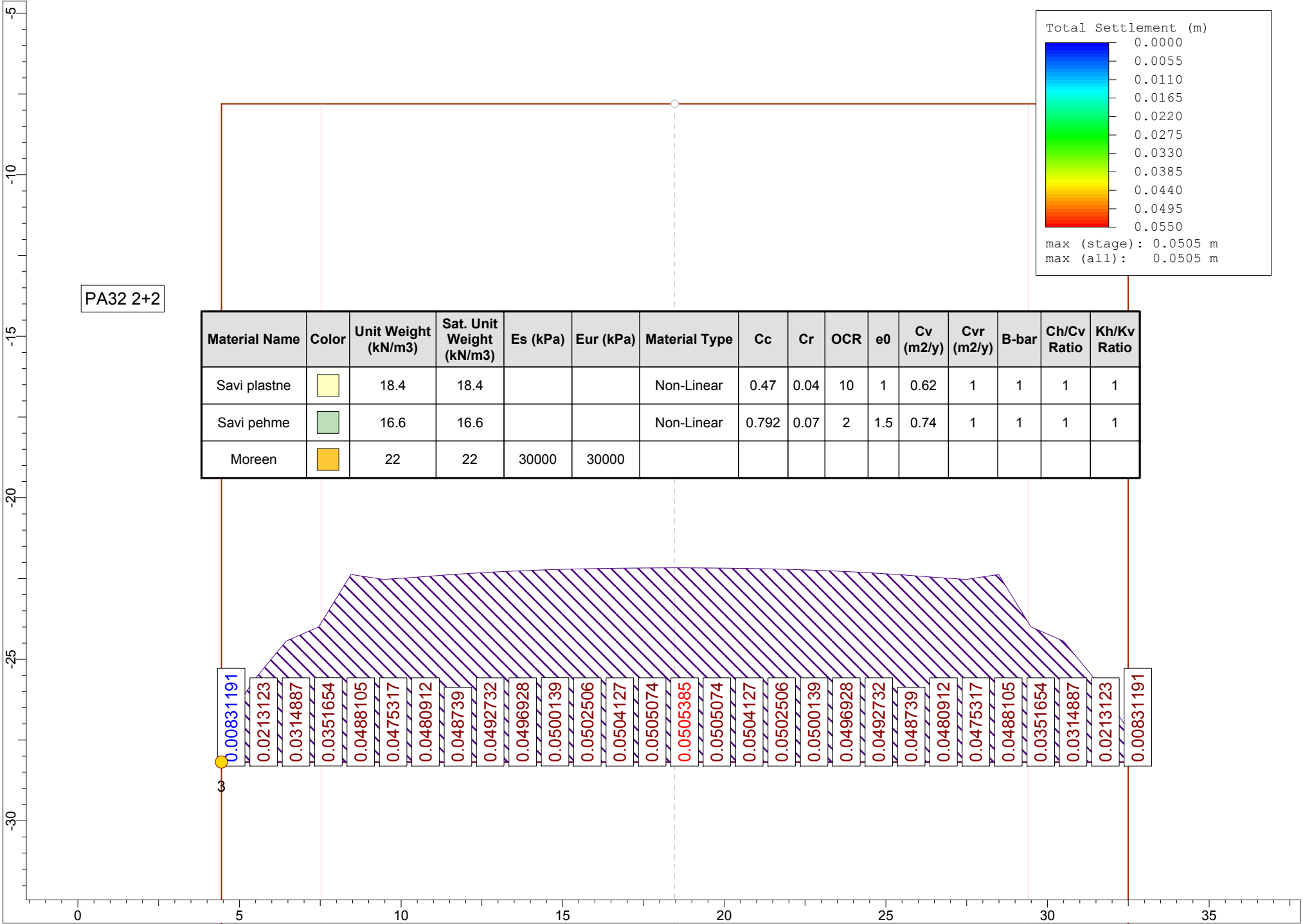


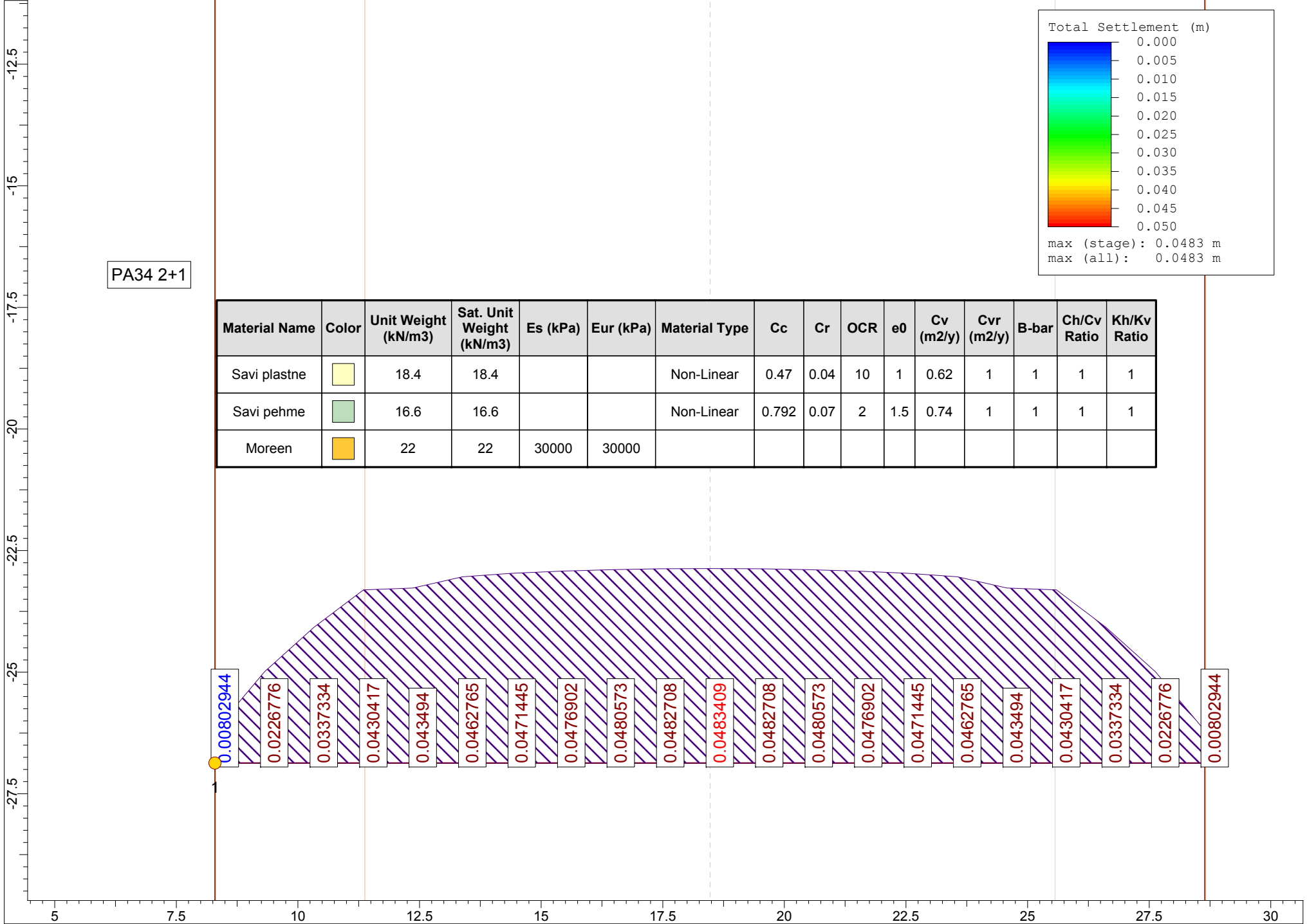






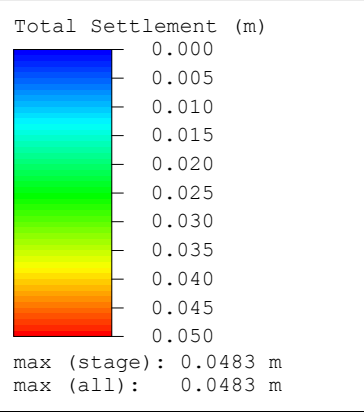


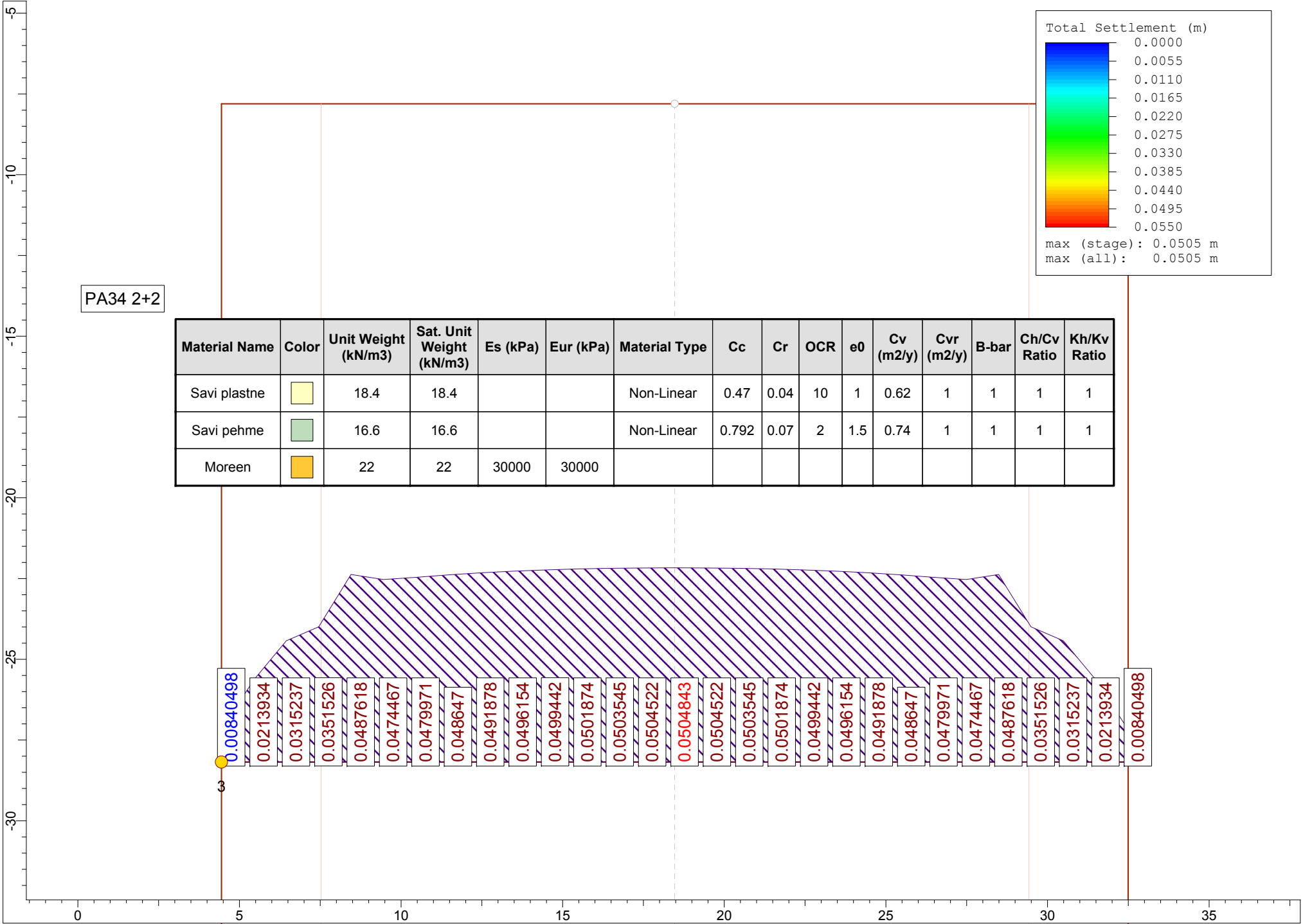


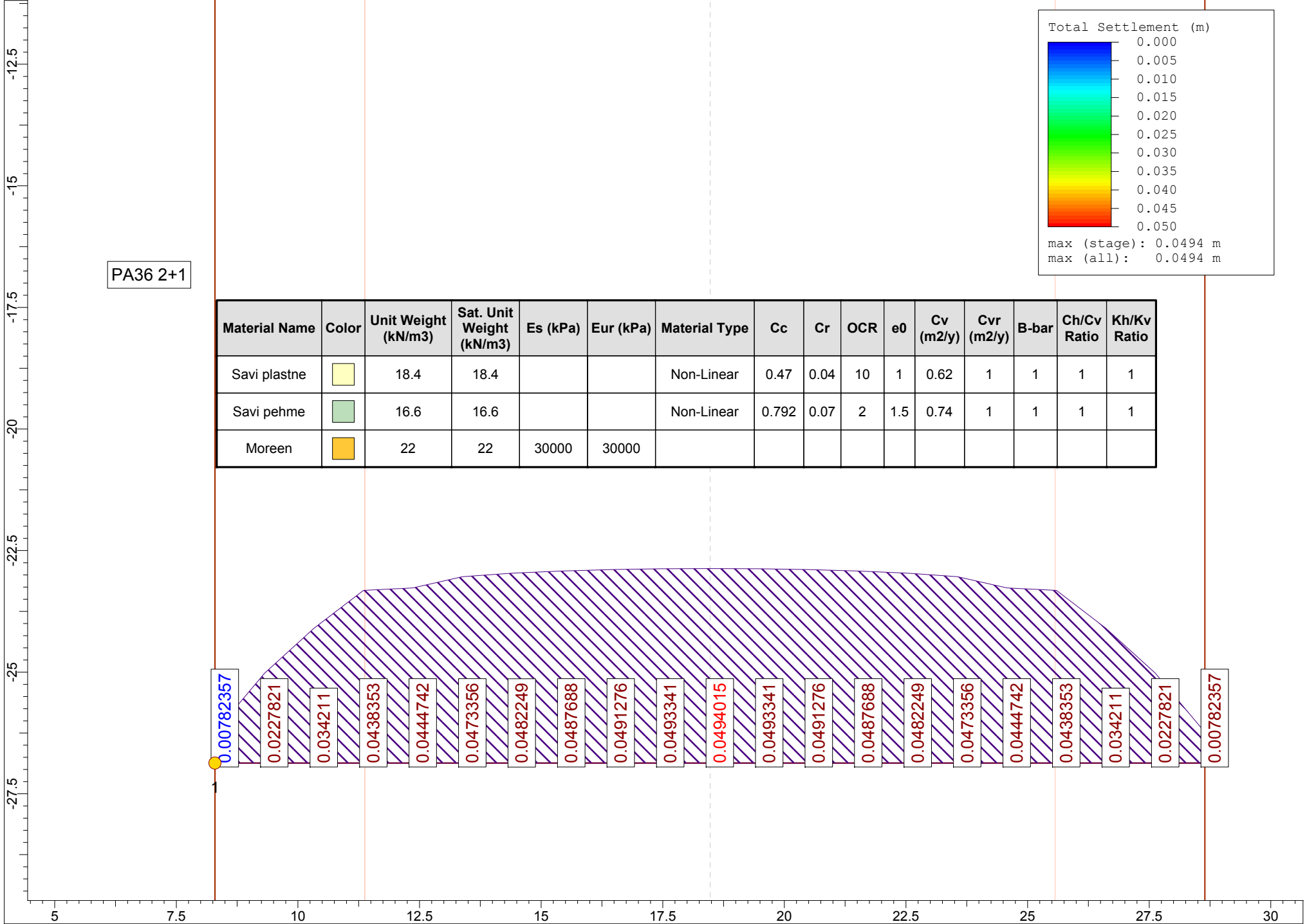


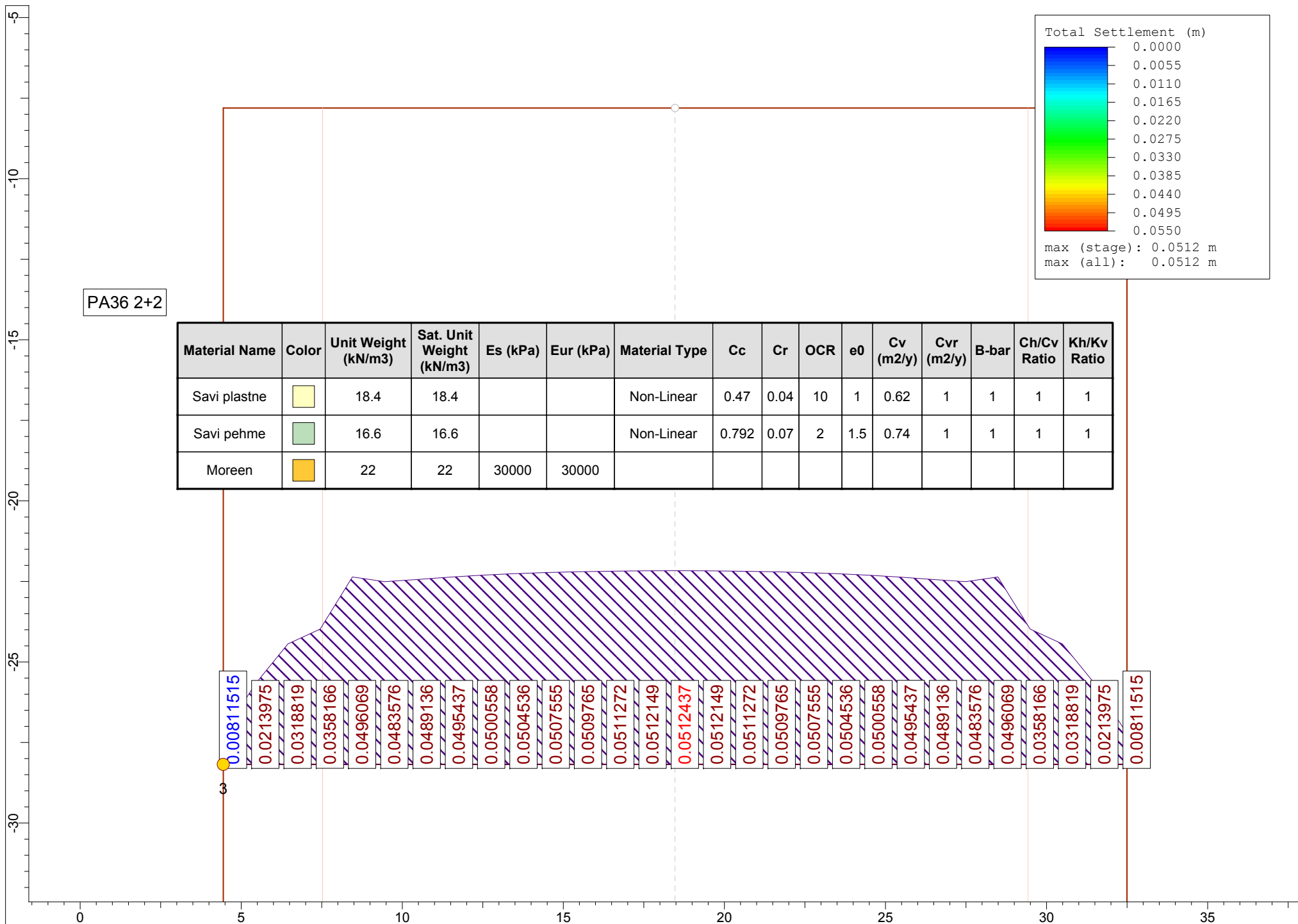
PA34 2+1

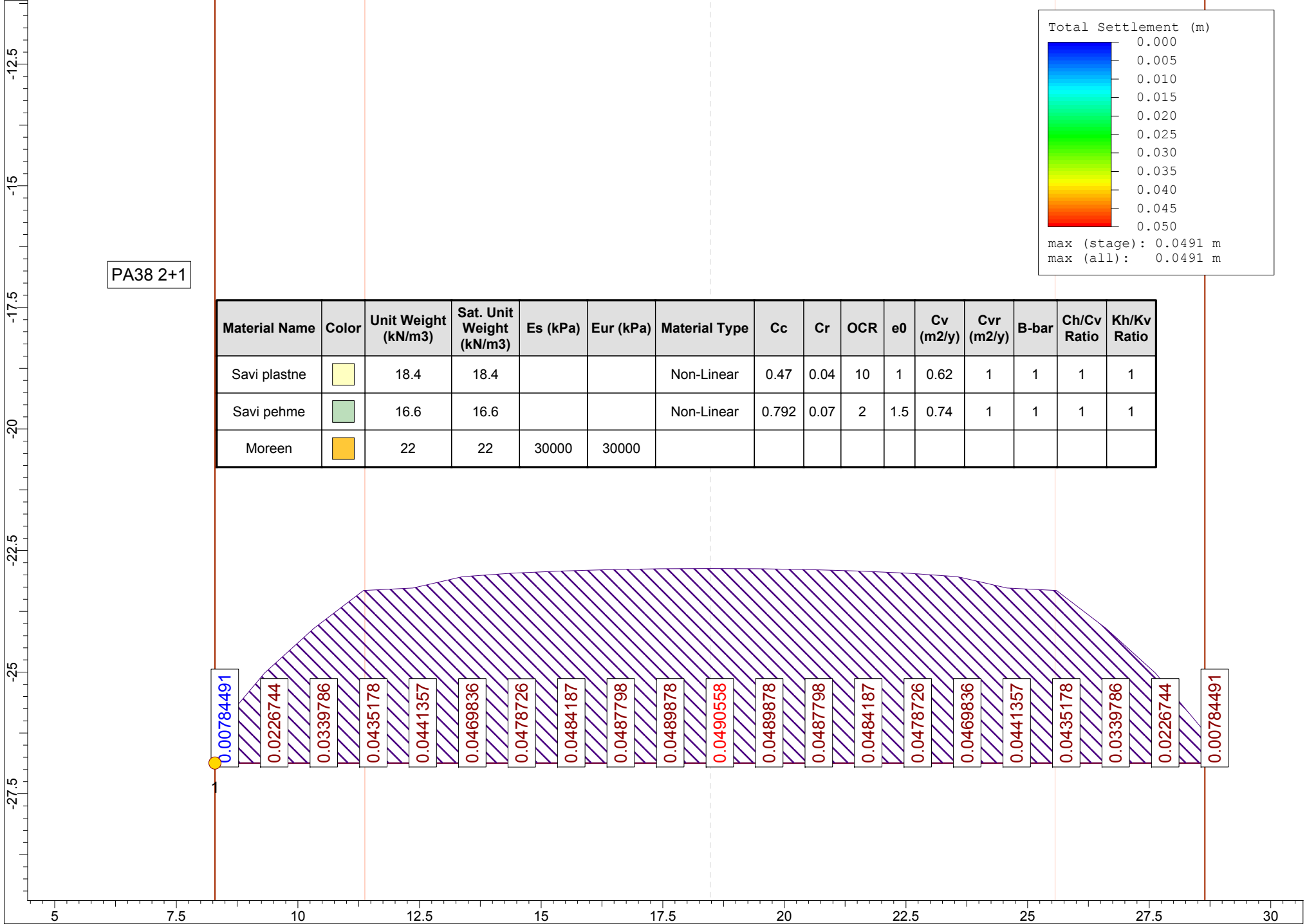
Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Sat. Unit Weight (kN/m3)	Es (kPa)	Eur (kPa)	Material Type	Cc	Cr	OCR	e0	Cv (m2/y)	Cvr (m2/y)	B-bar	Ch/Cv Ratio	Kh/Kv Ratio
Savi plastne		18.4	18.4			Non-Linear	0.47	0.04	10	1	0.62	1	1	1	1
Savi pehme		16.6	16.6			Non-Linear	0.792	0.07	2	1.5	0.74	1	1	1	1
Moreen		22	22	30000	30000										

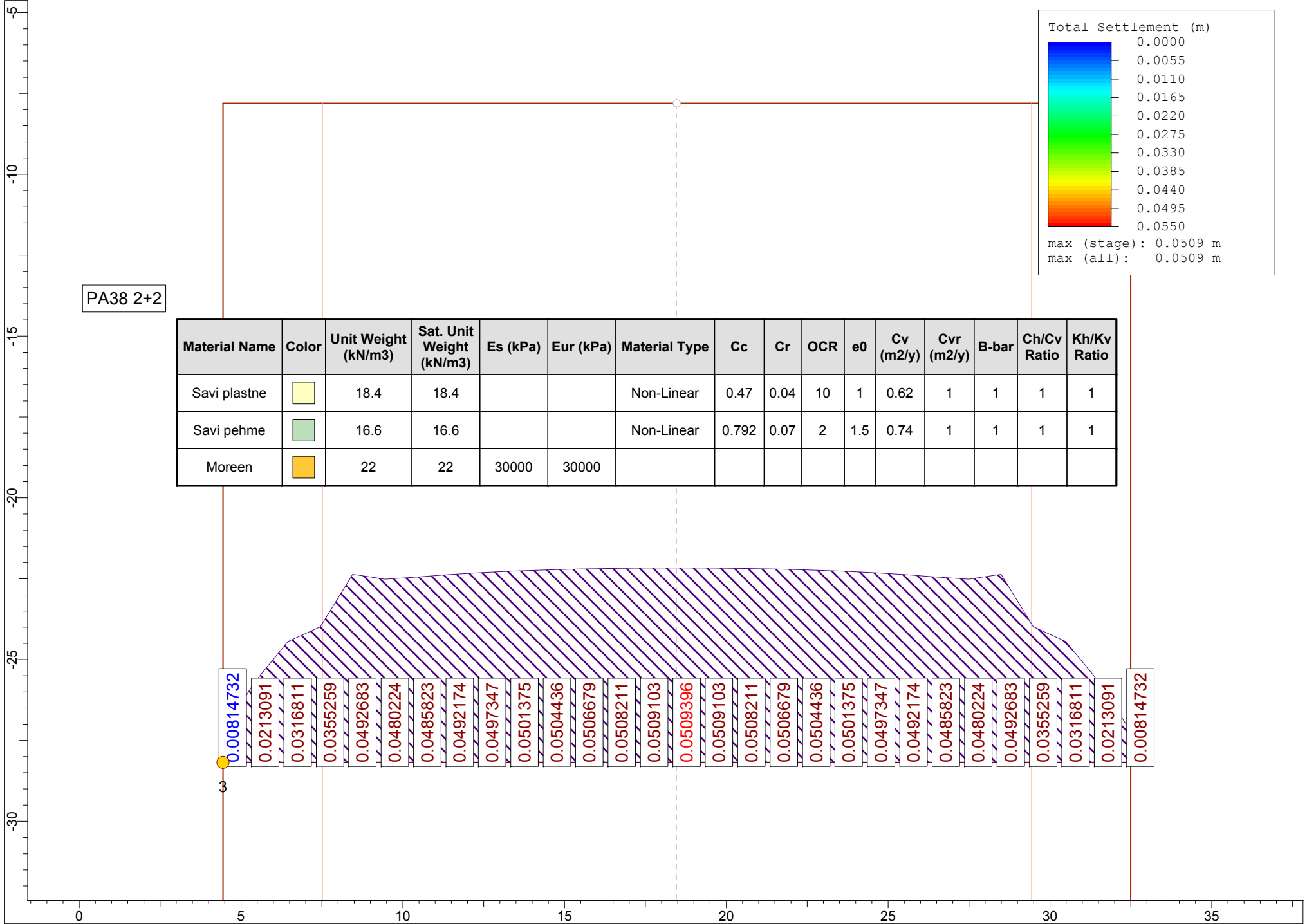


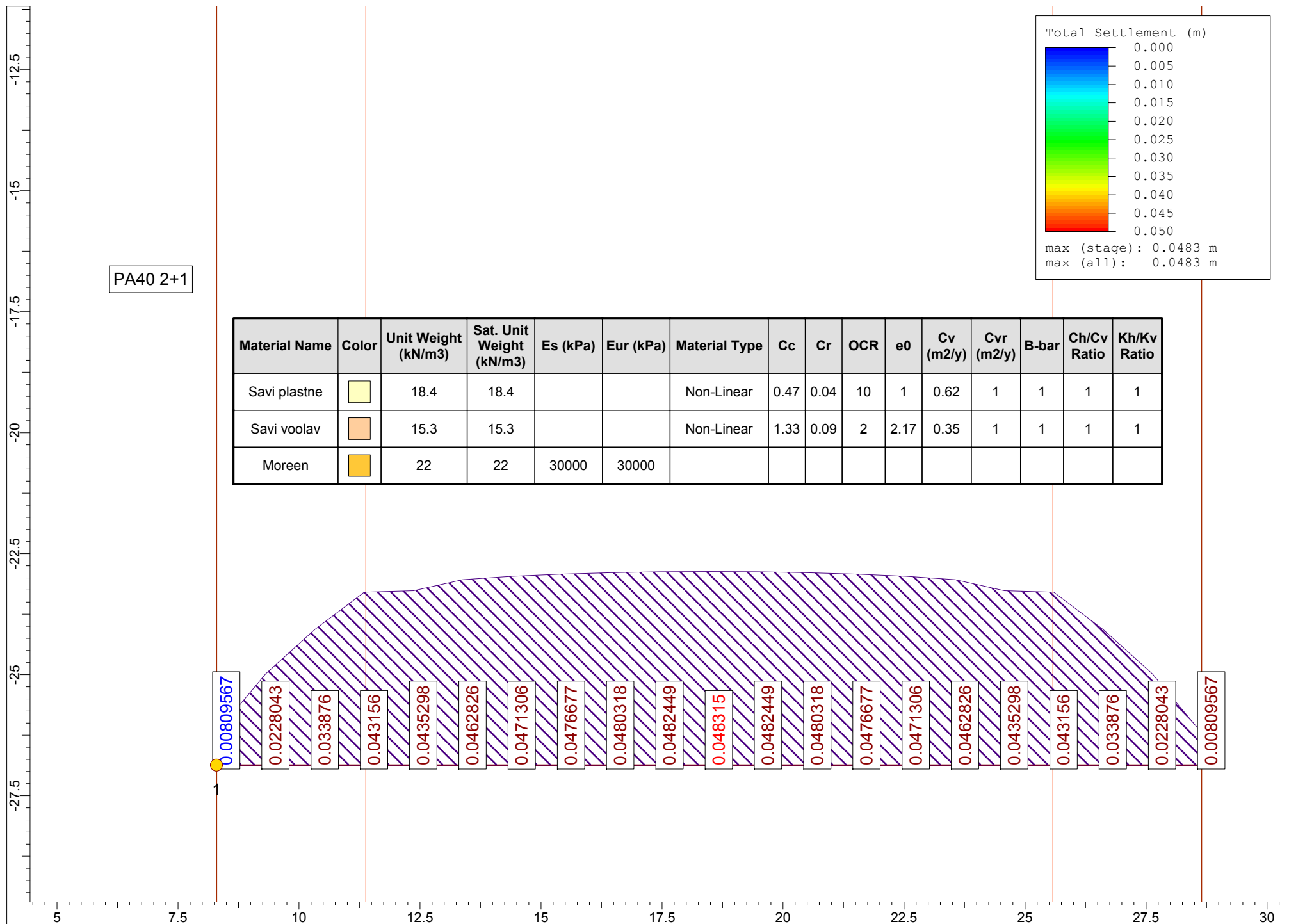


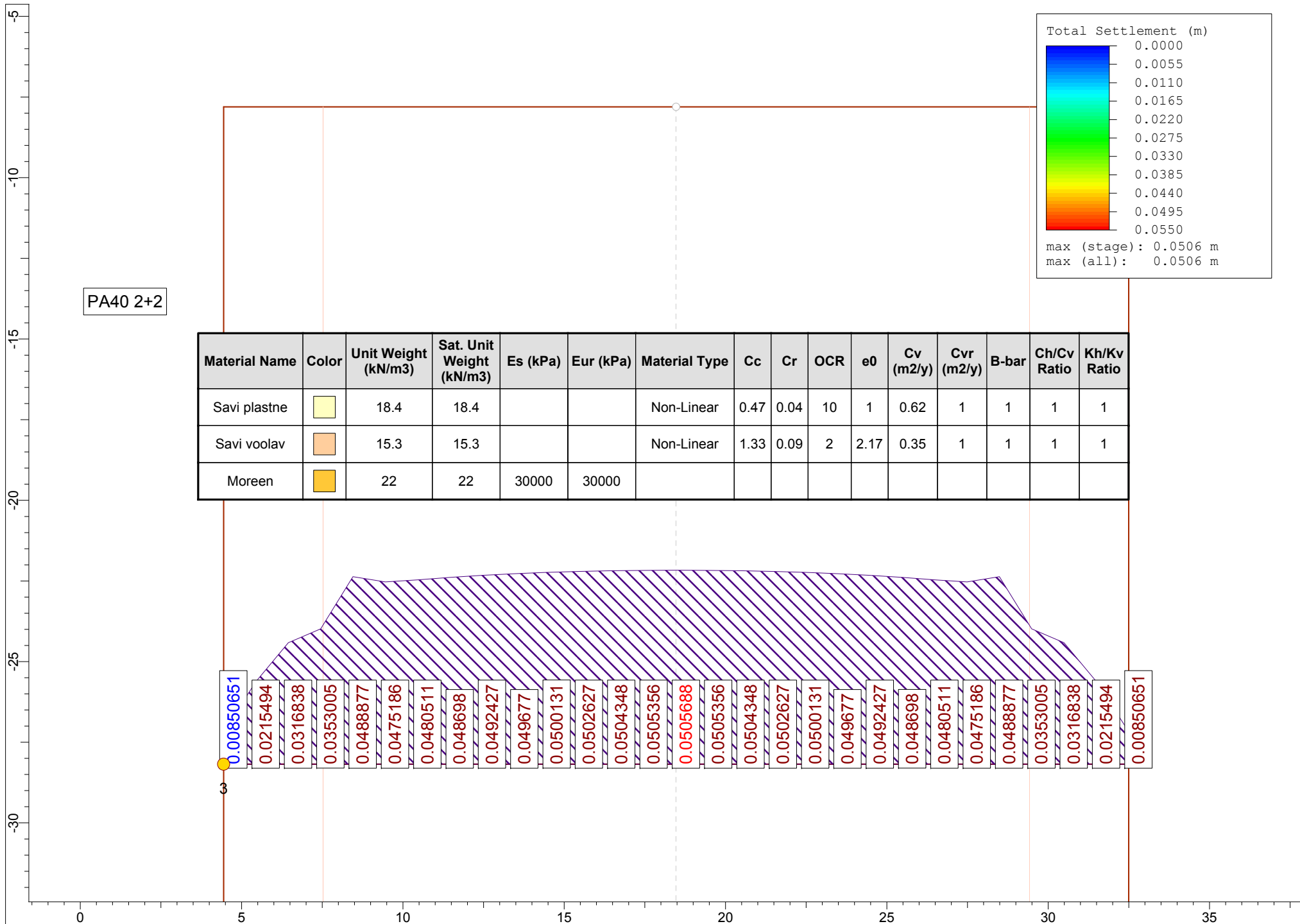




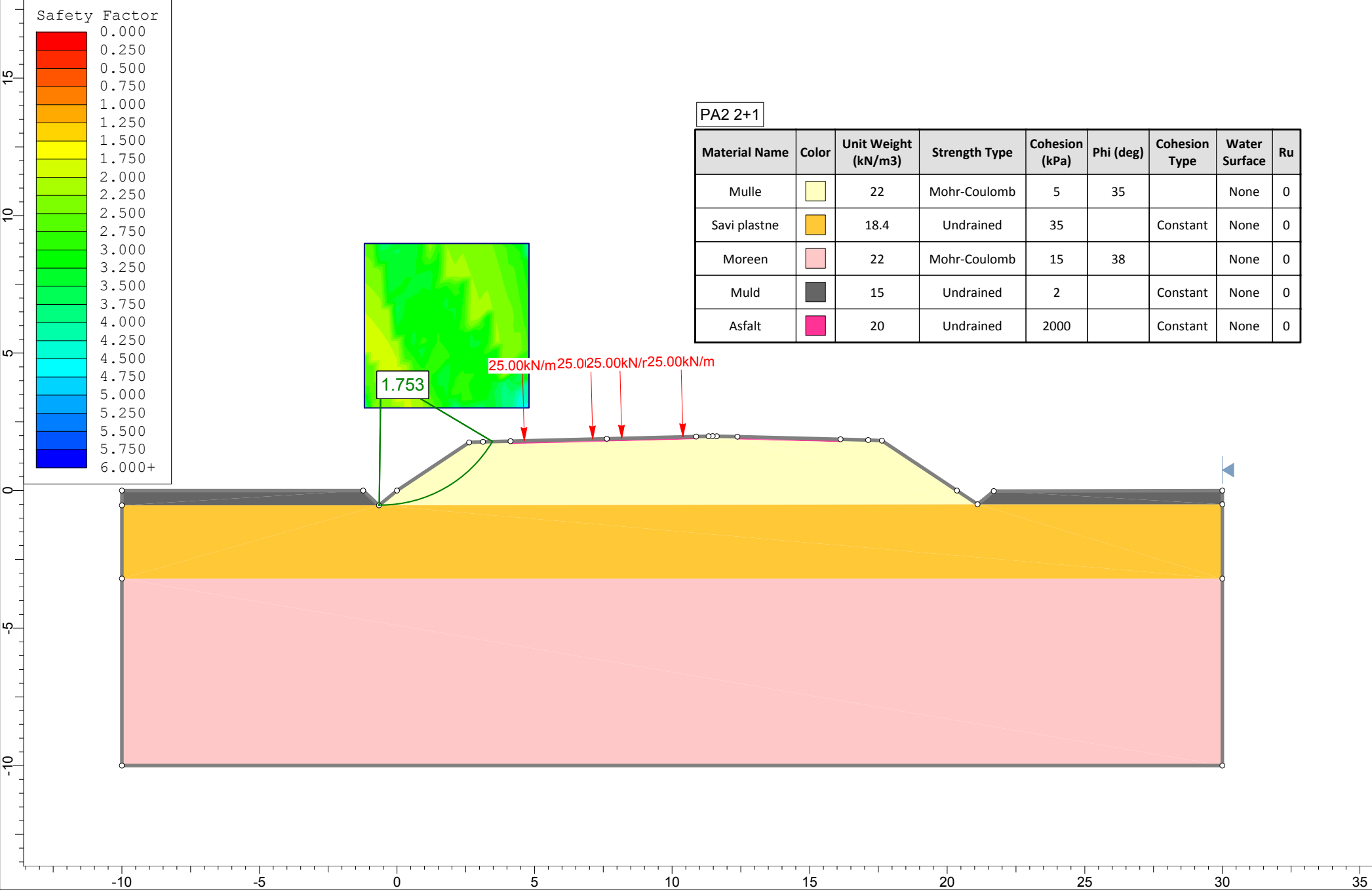


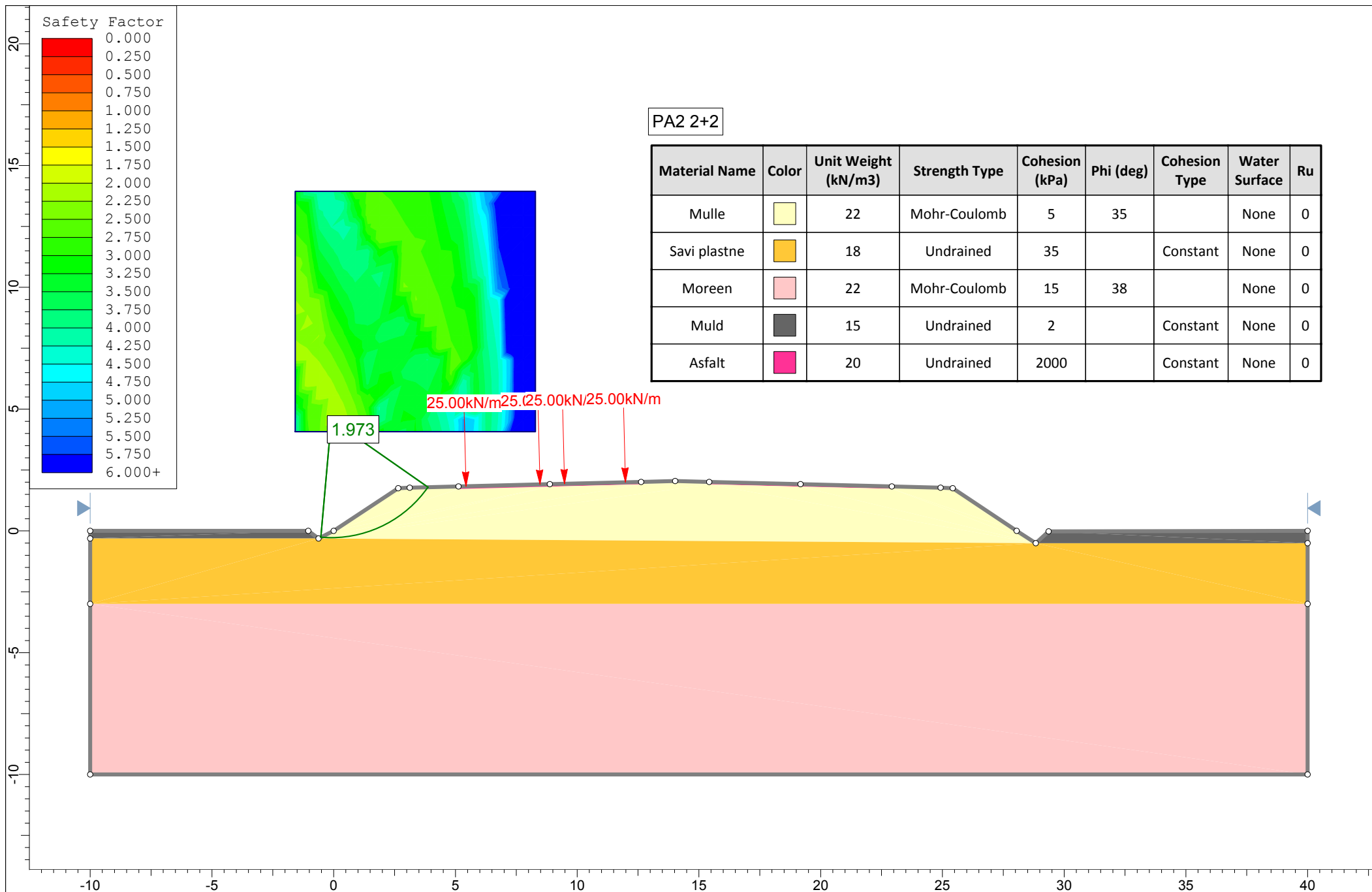


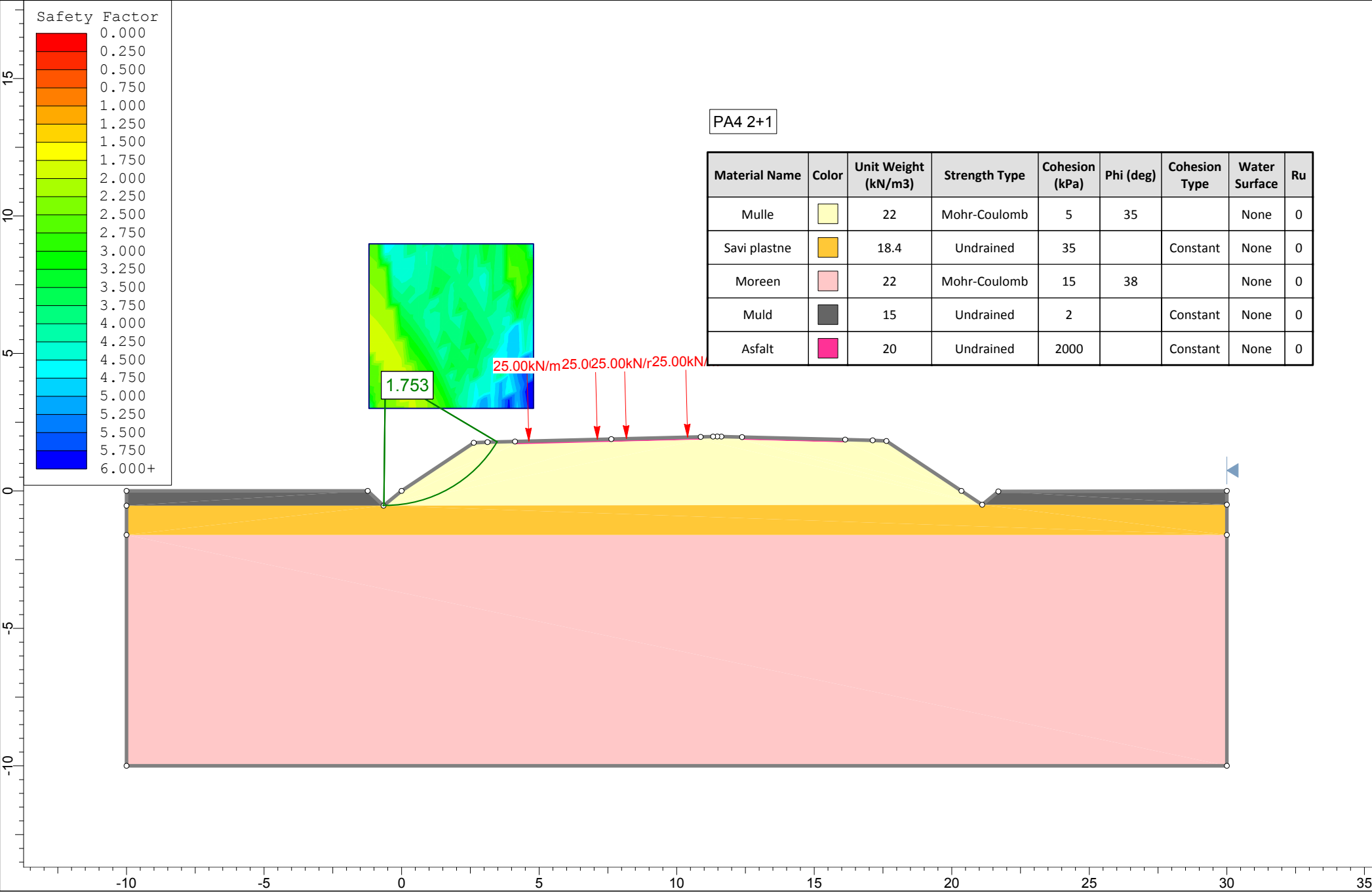


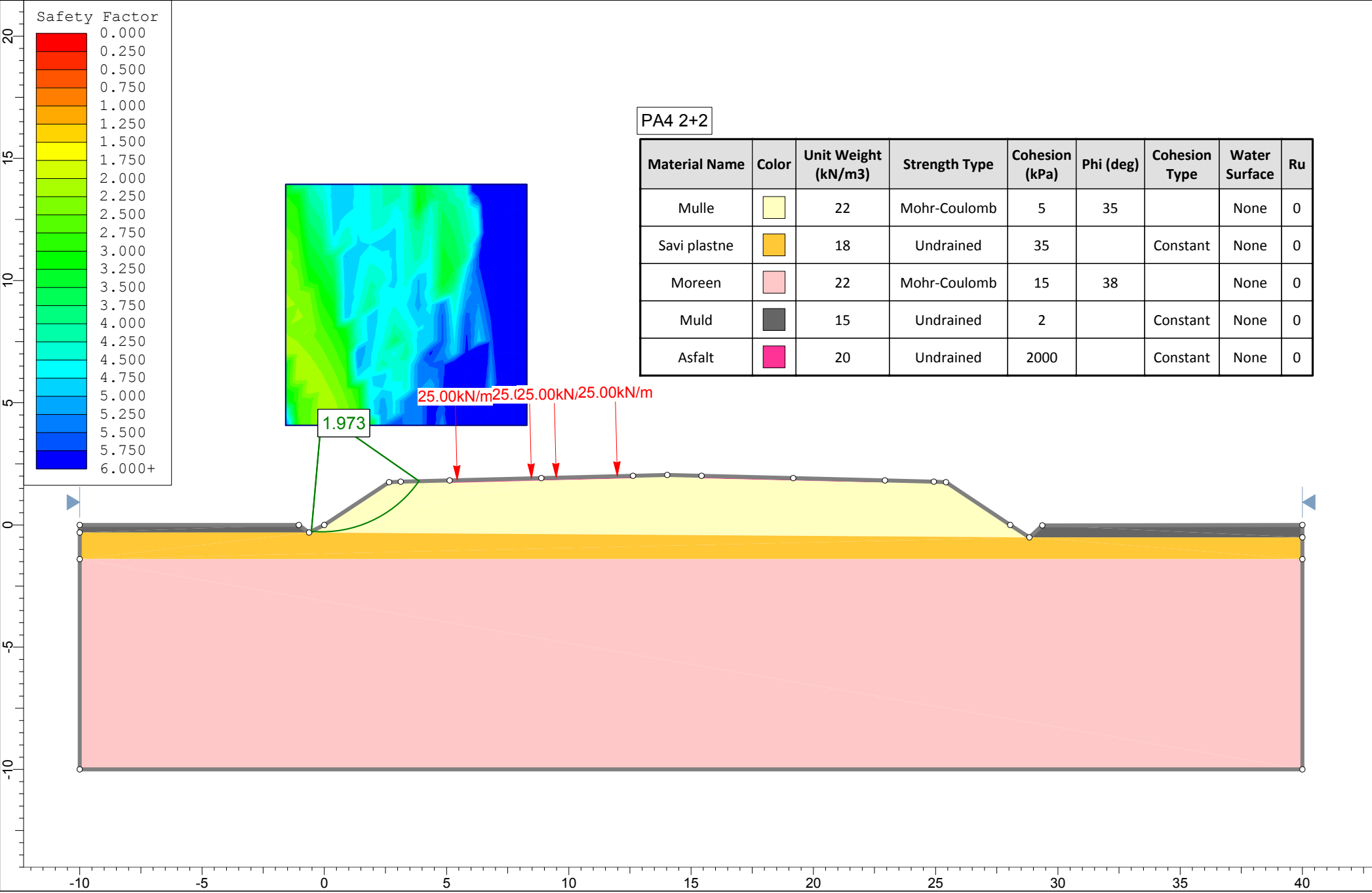


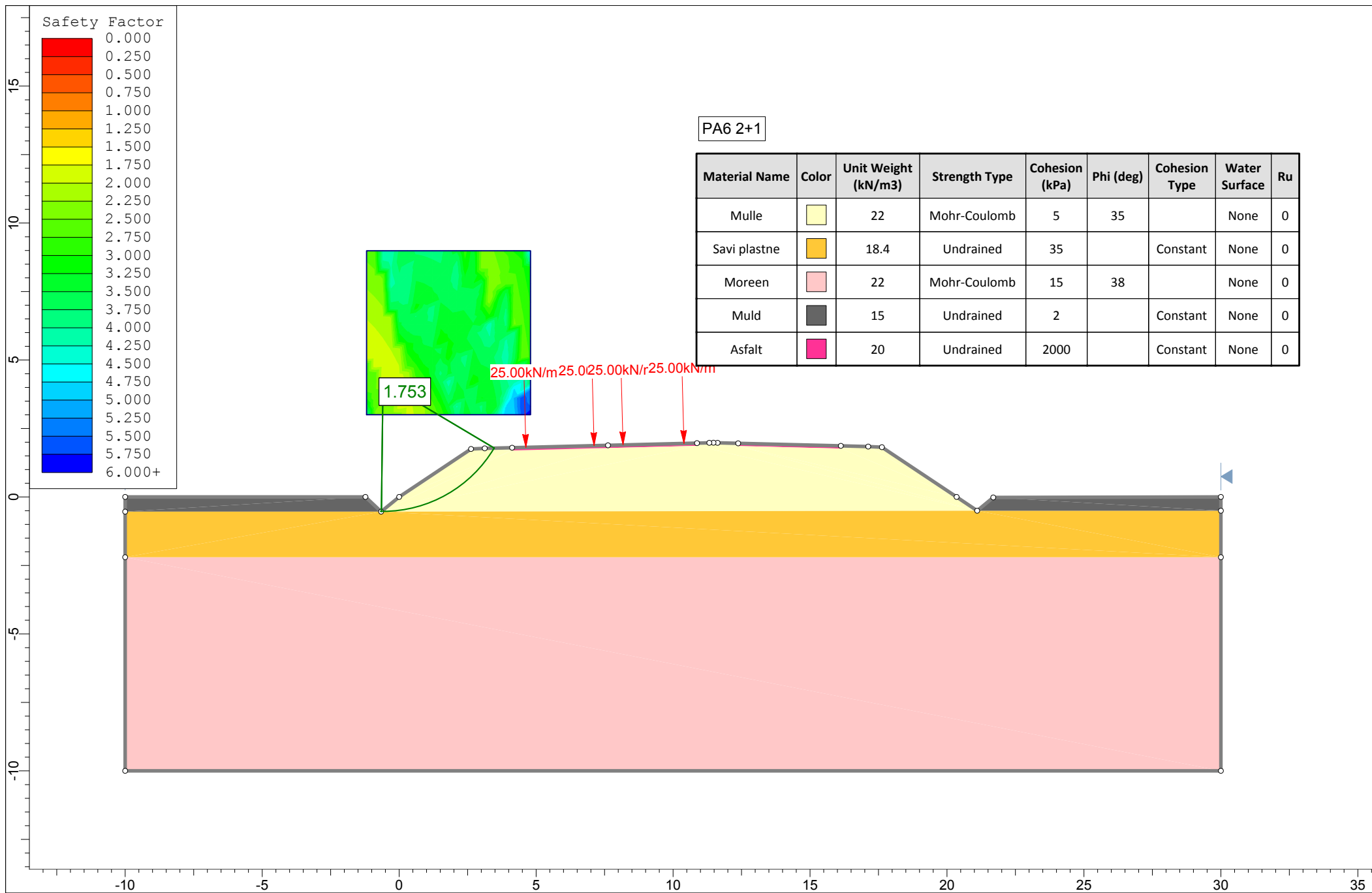
LISA 3. Stabiilsuse arvutuste tulemused

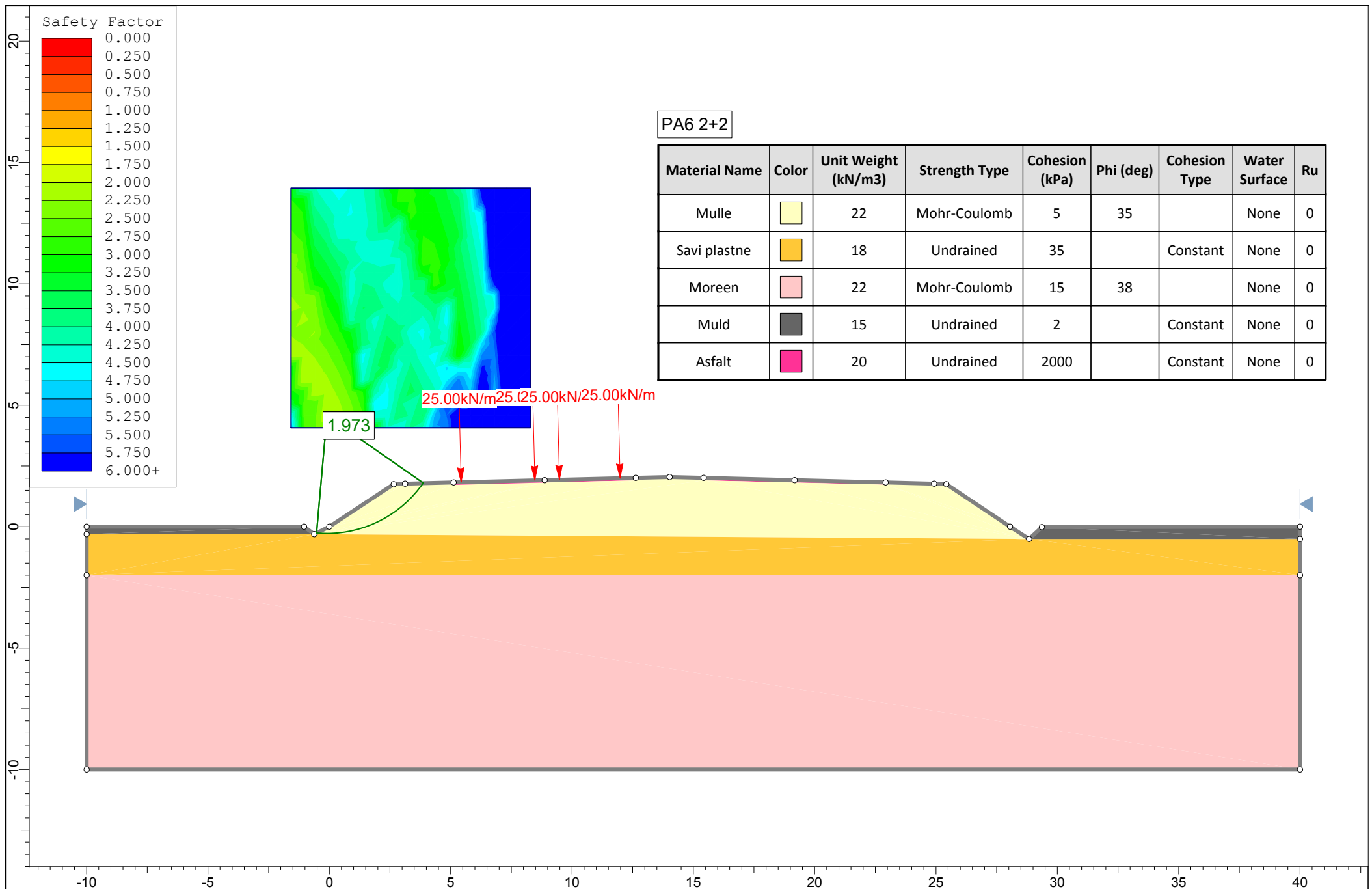


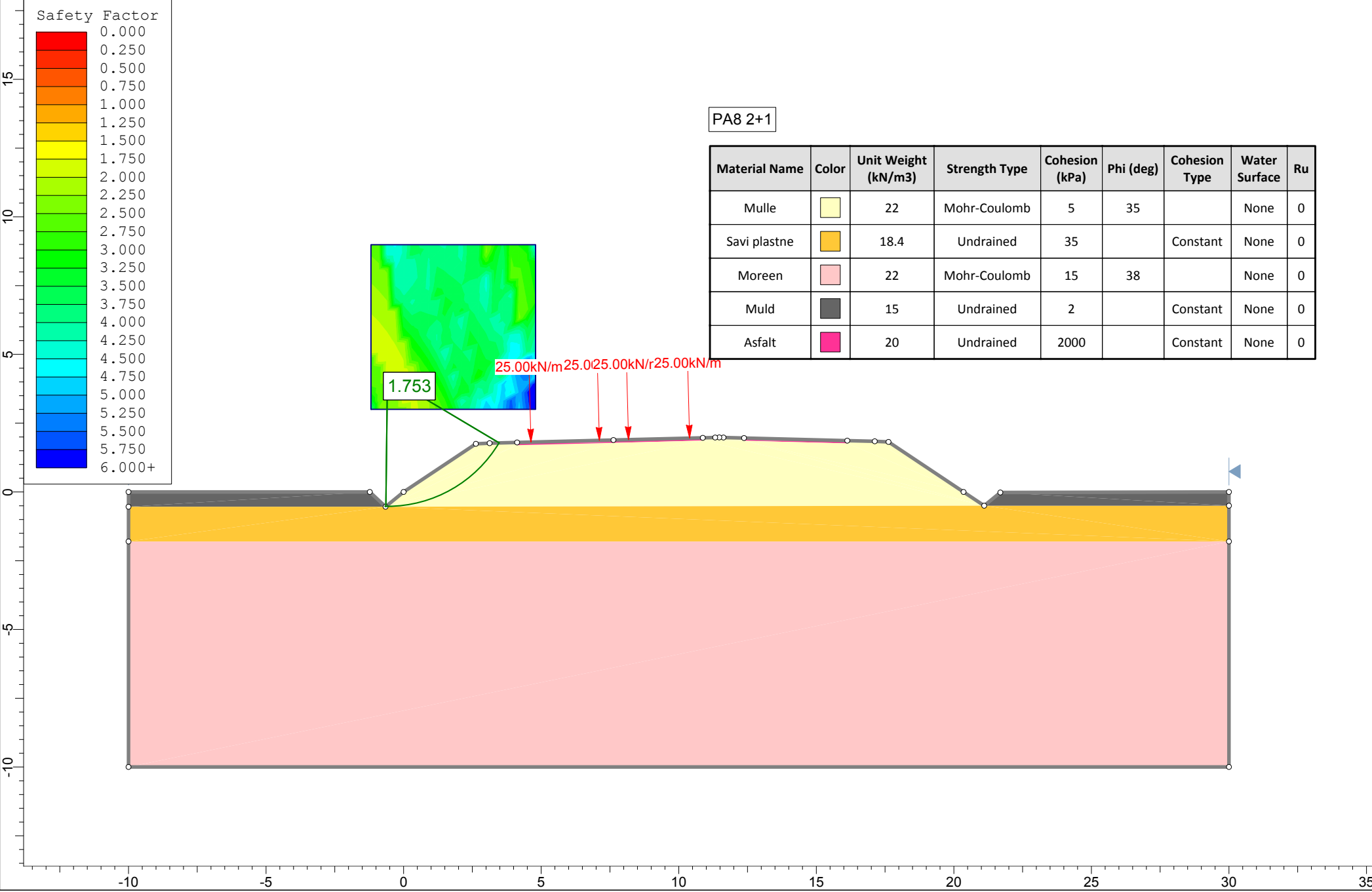


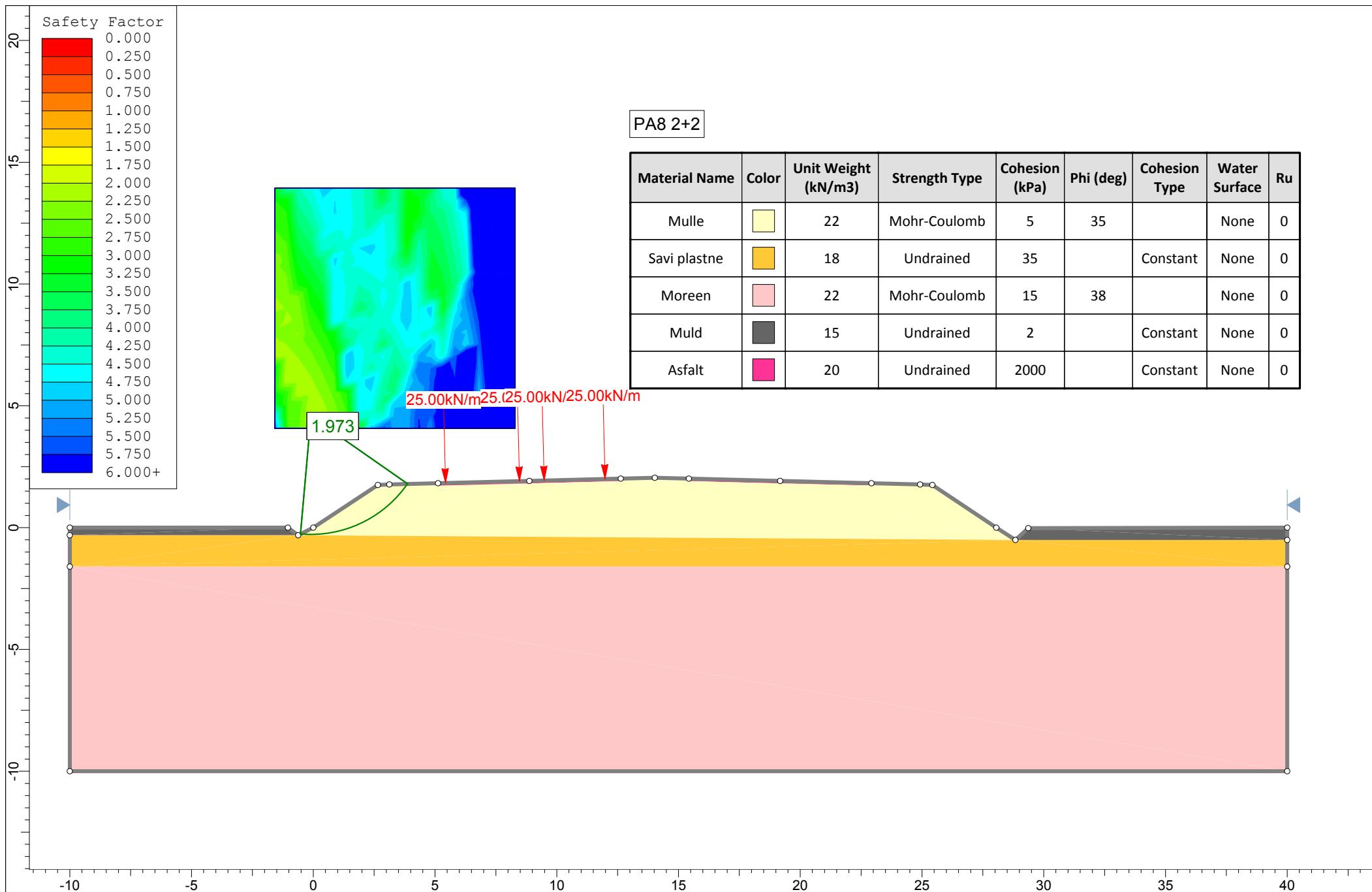


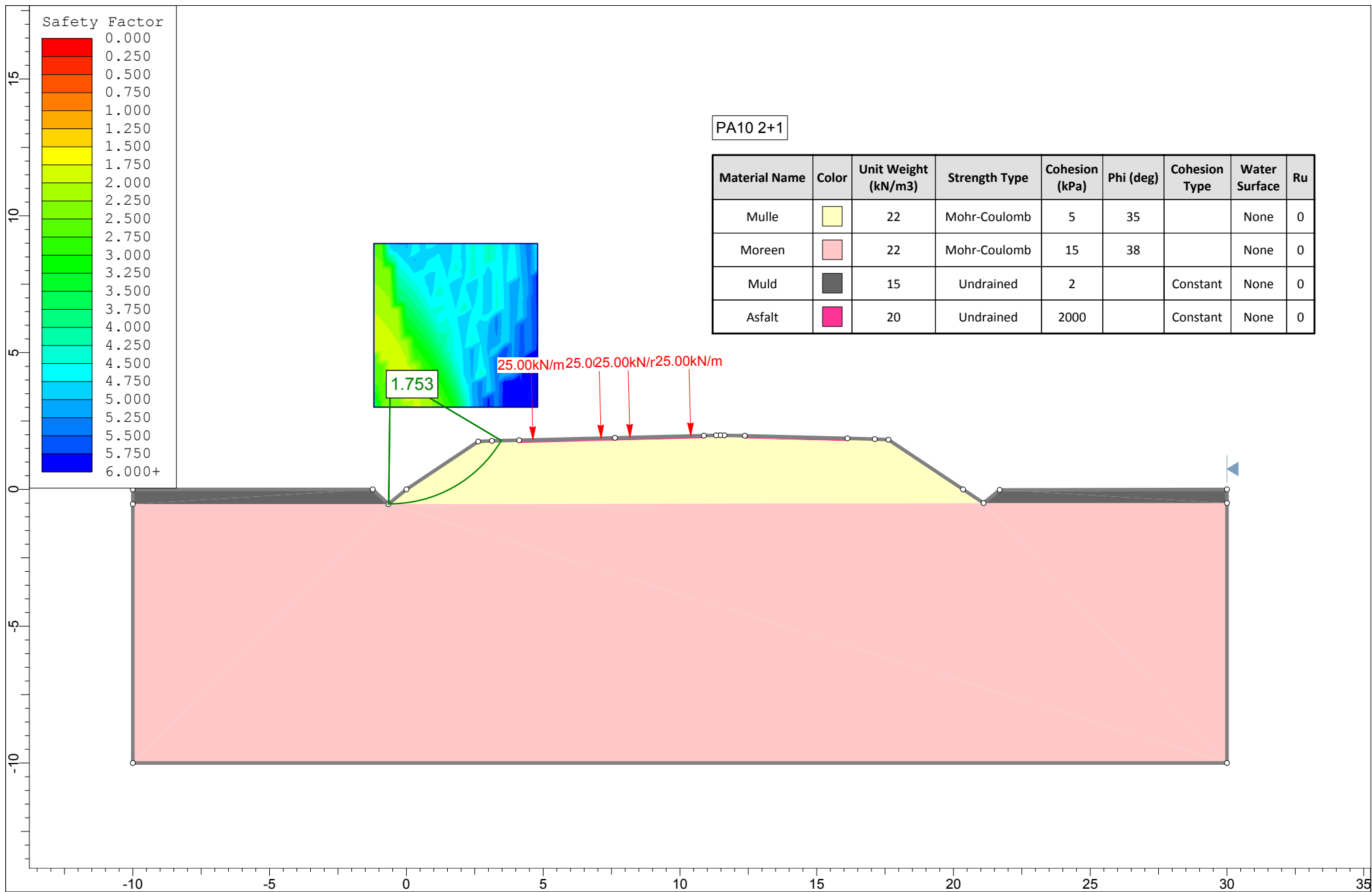


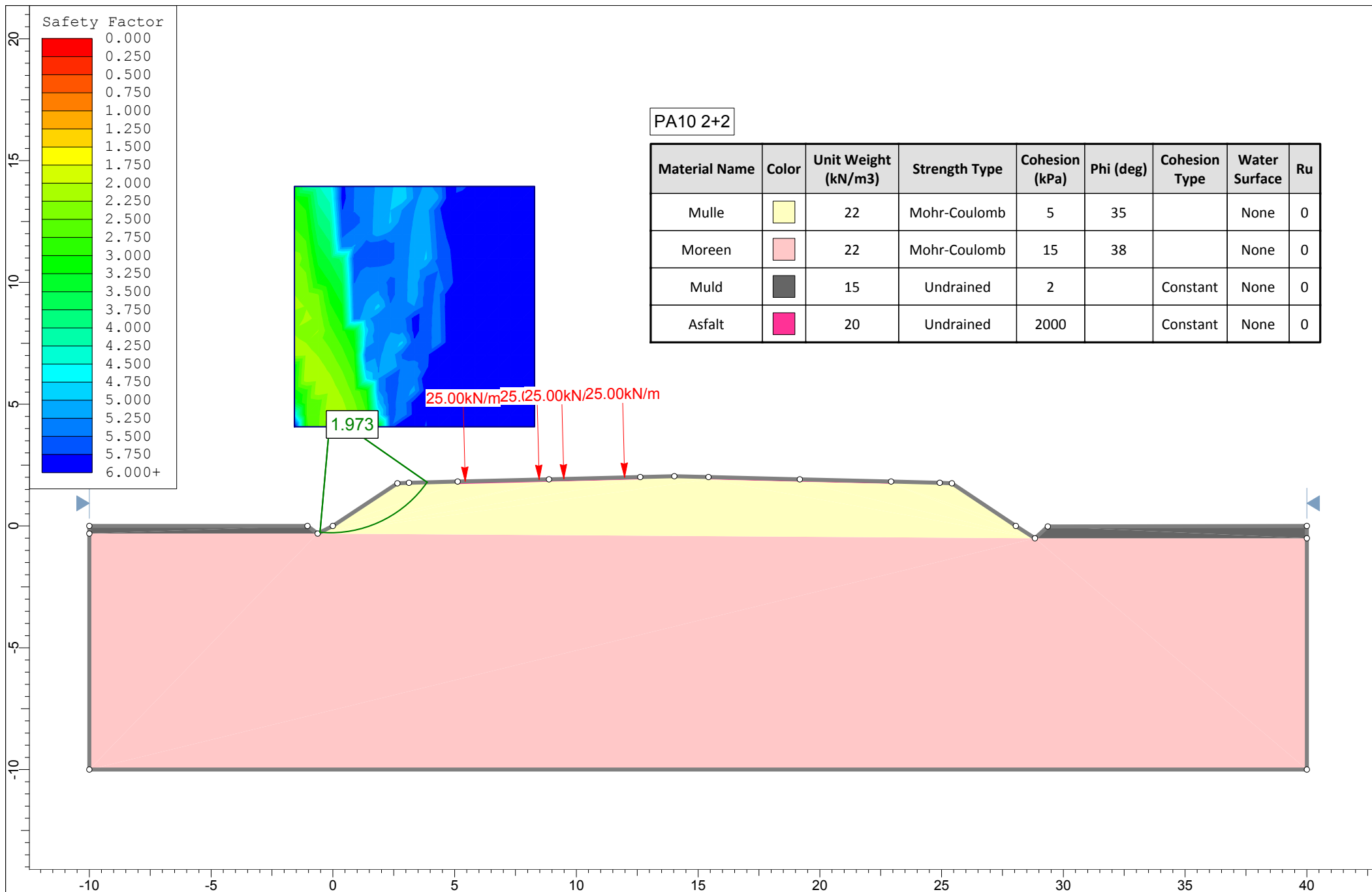


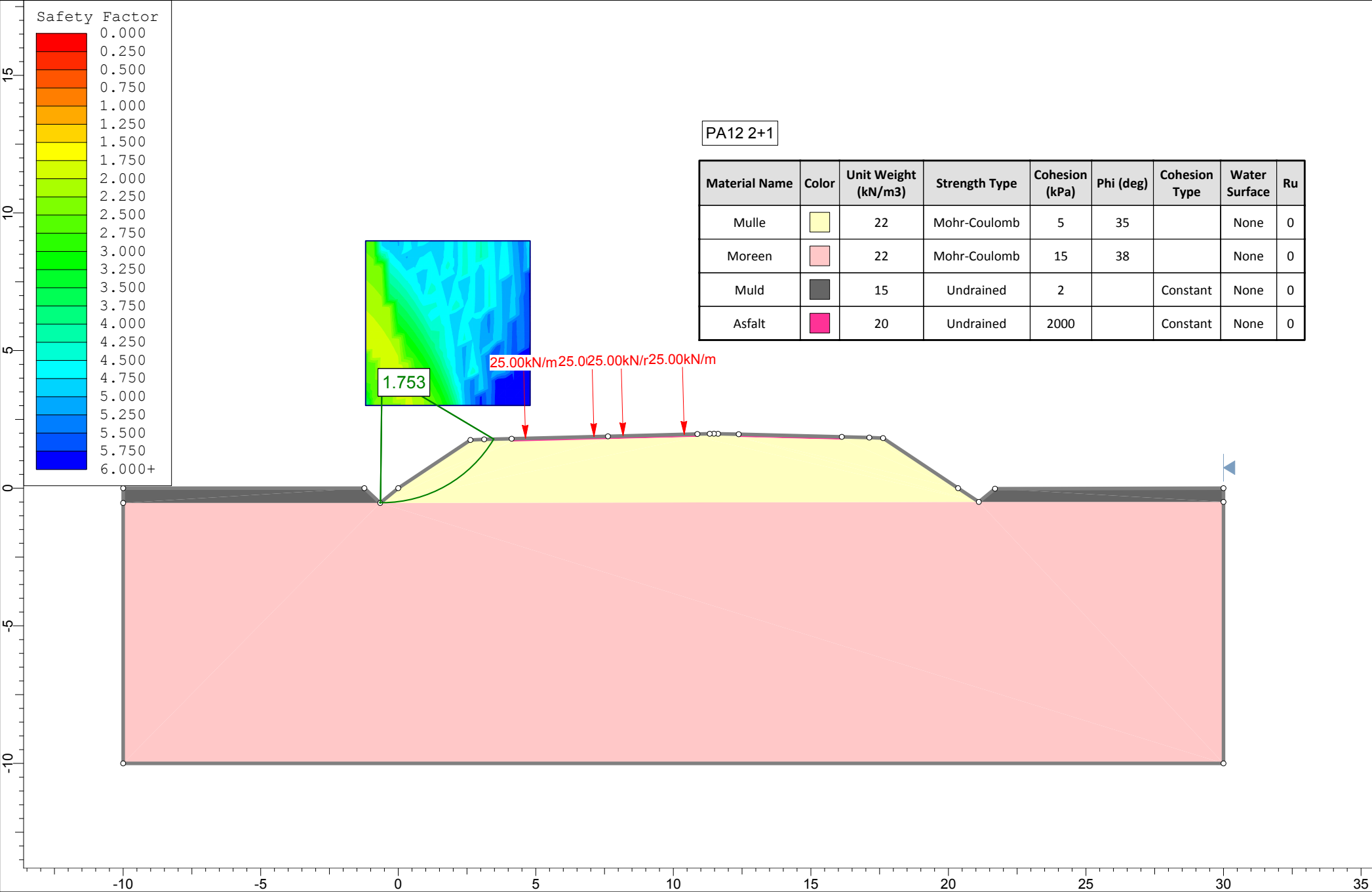


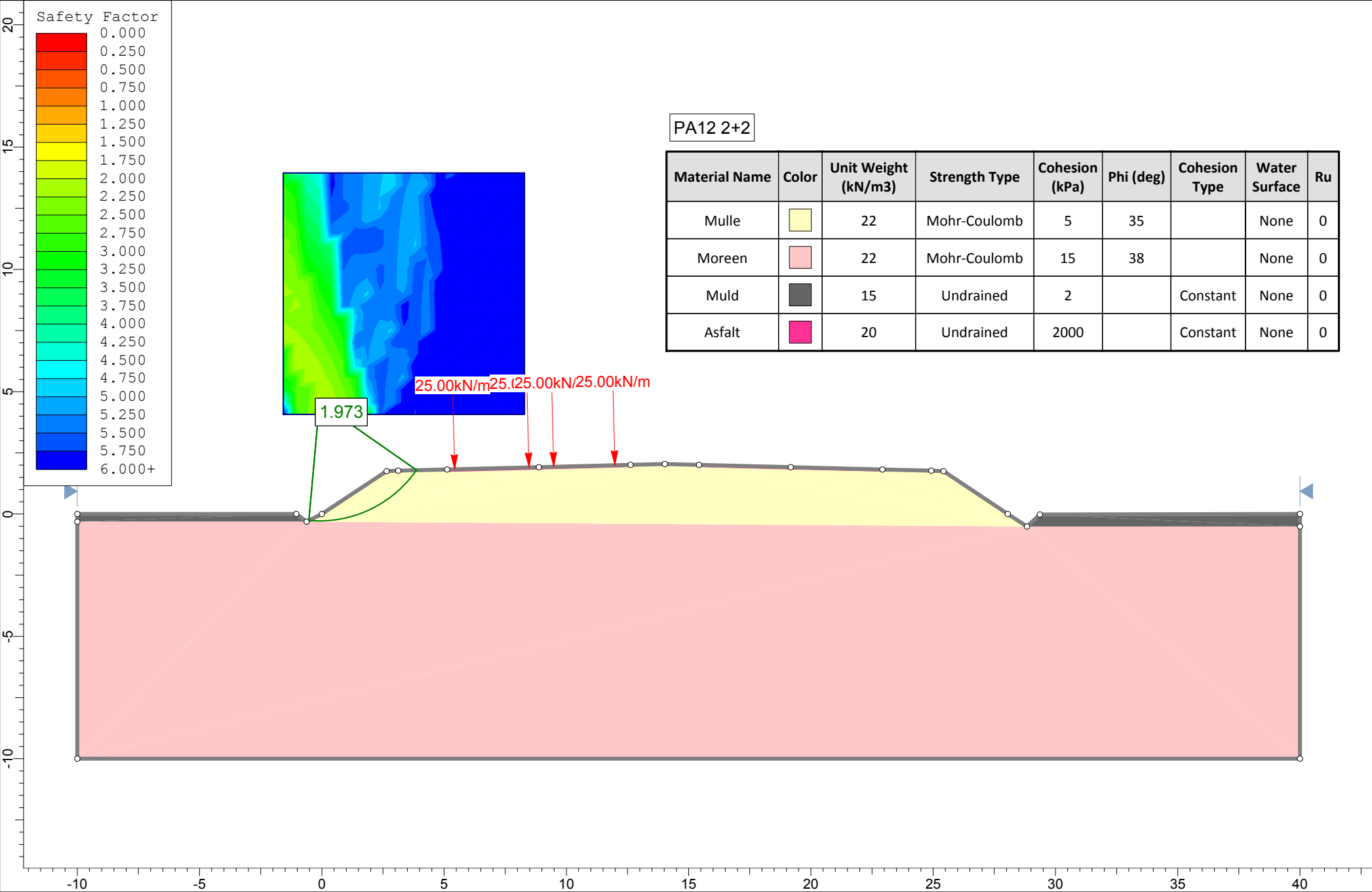


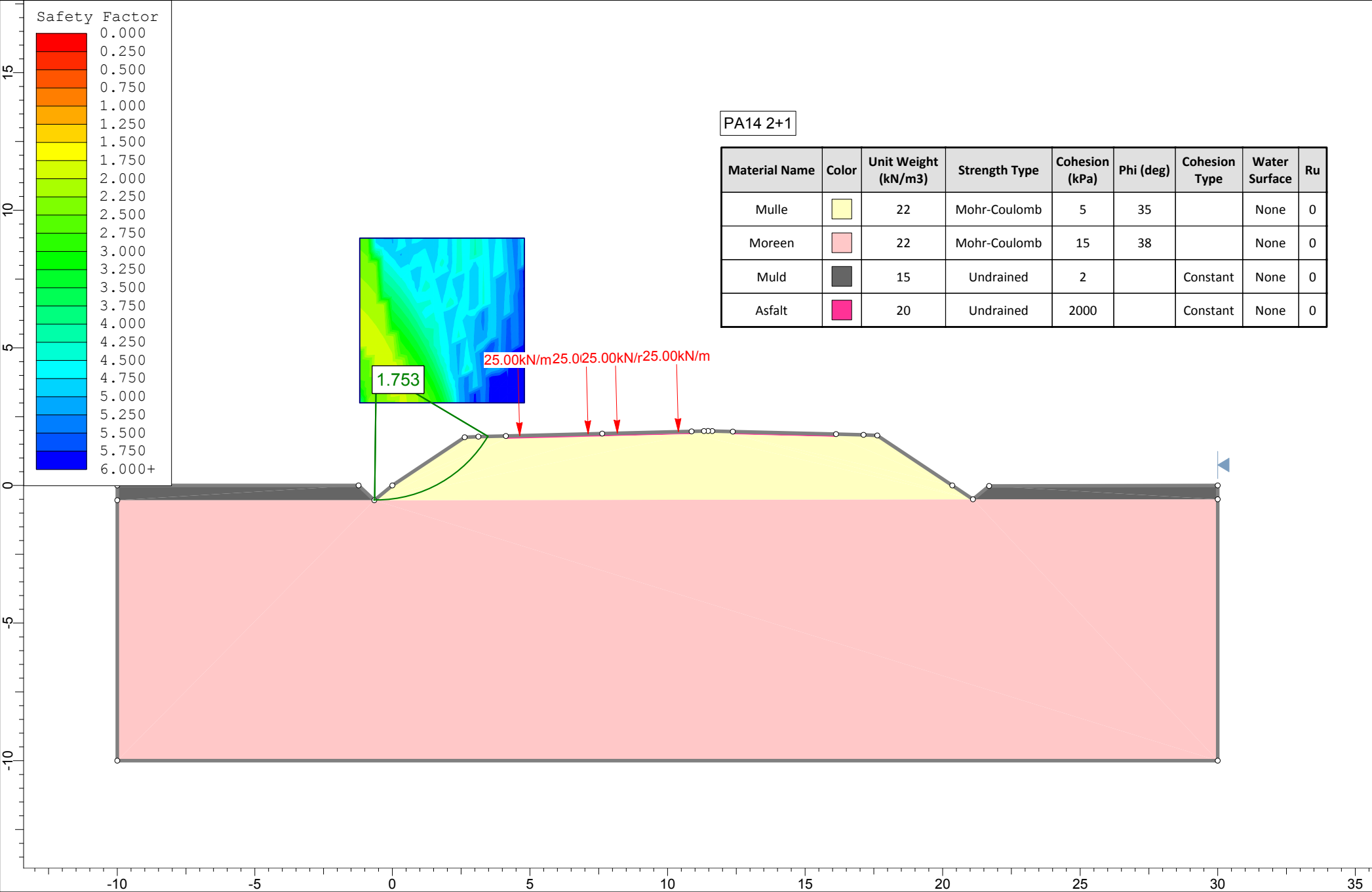


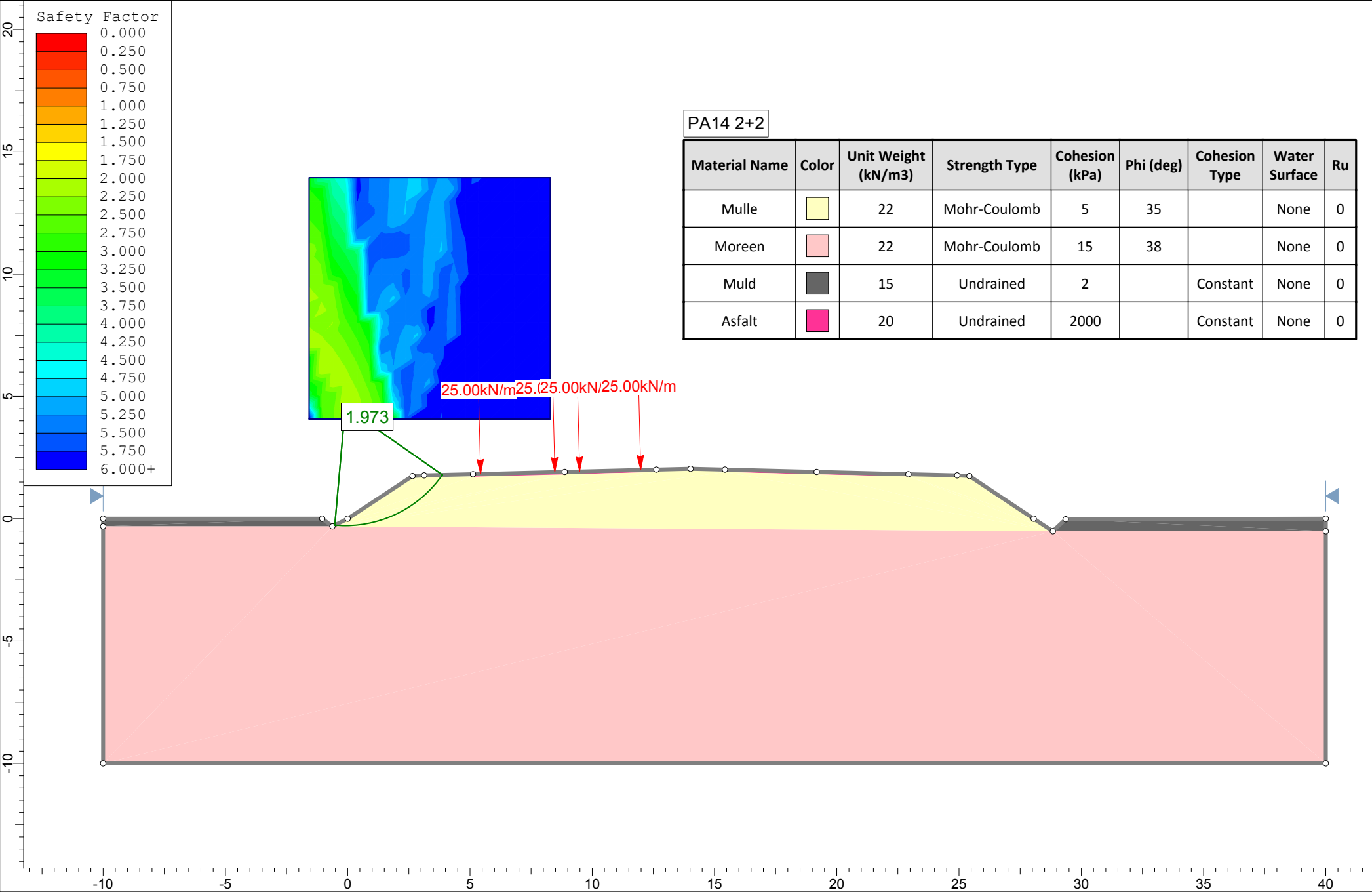


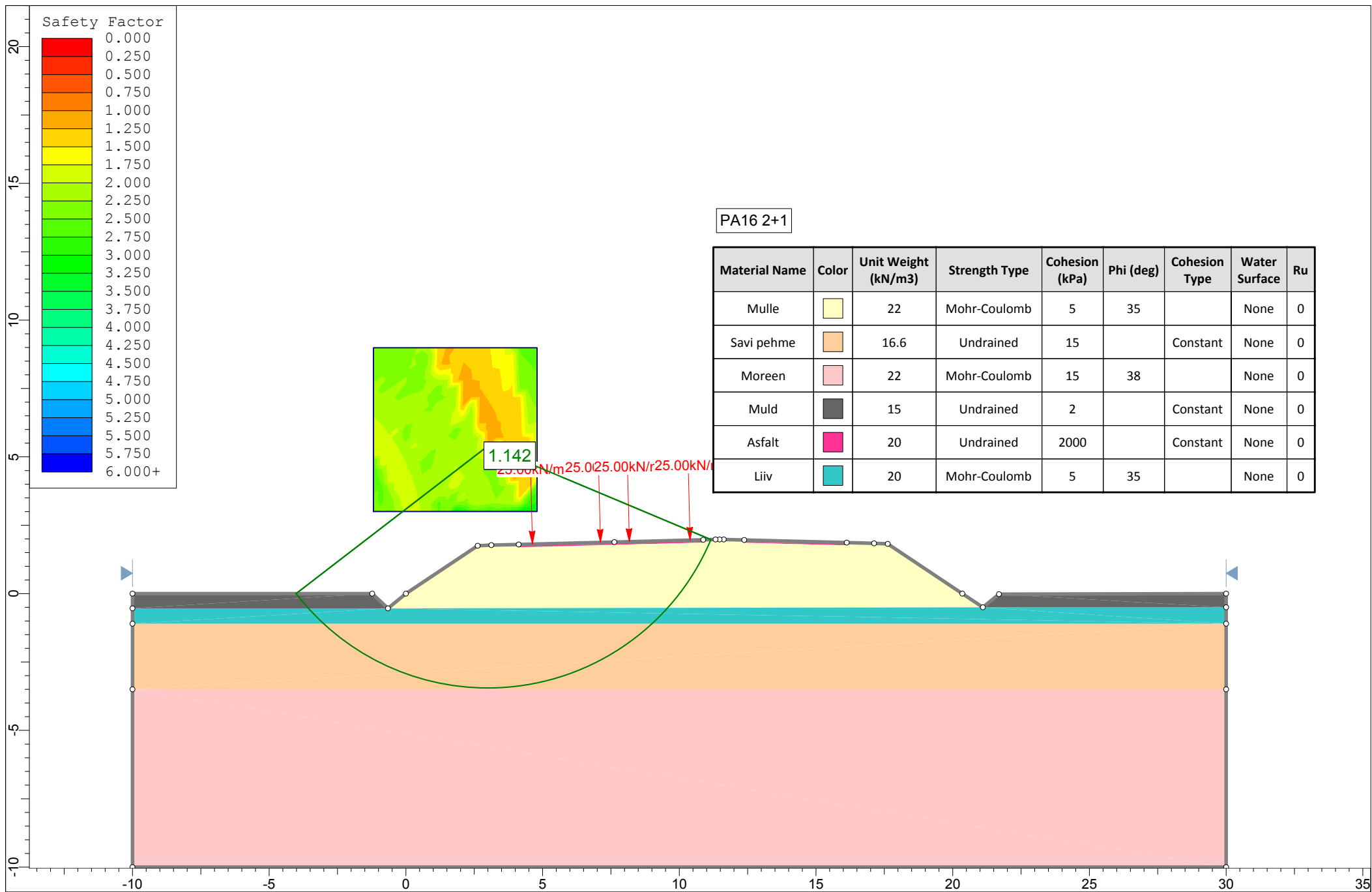


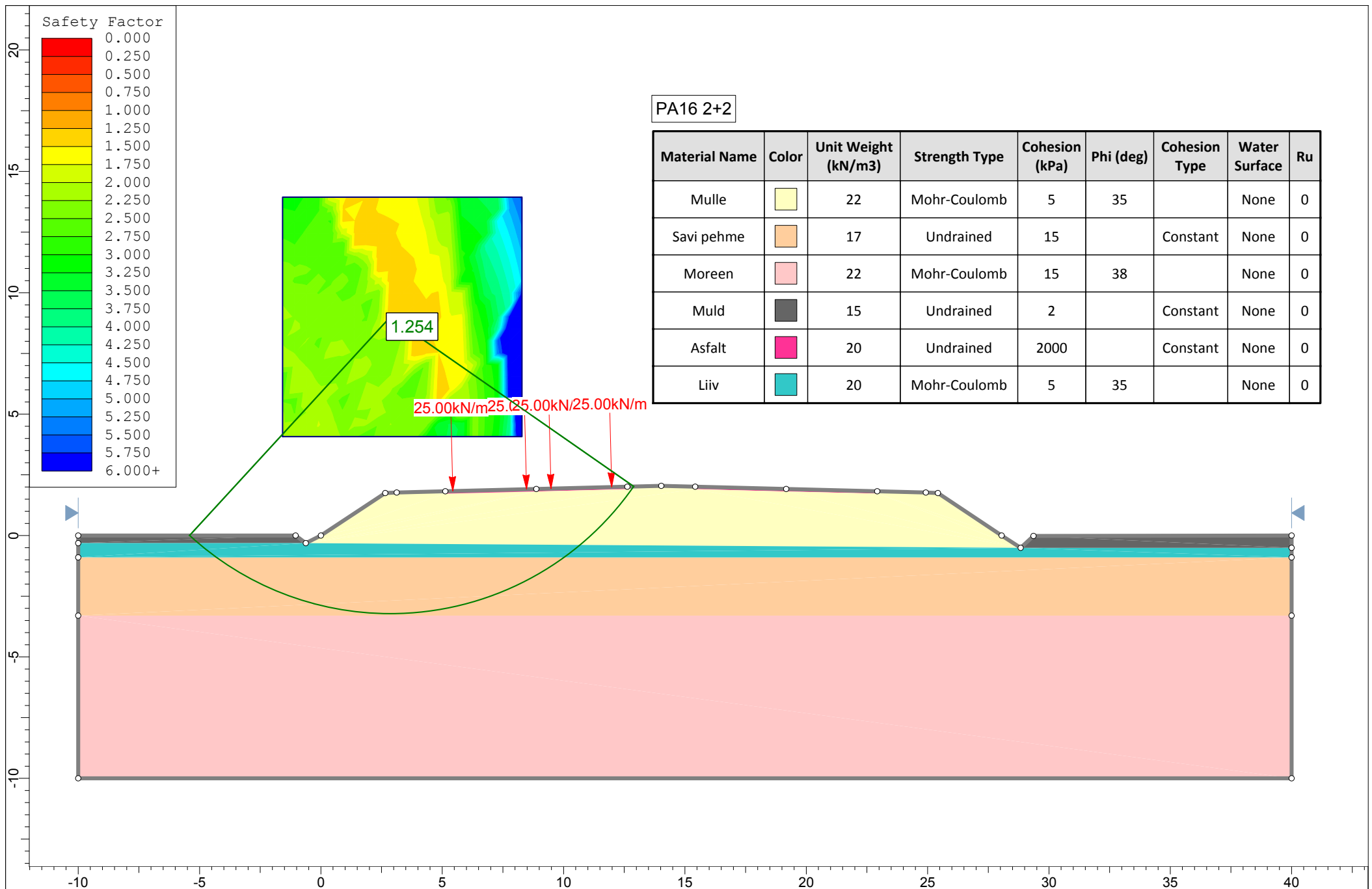


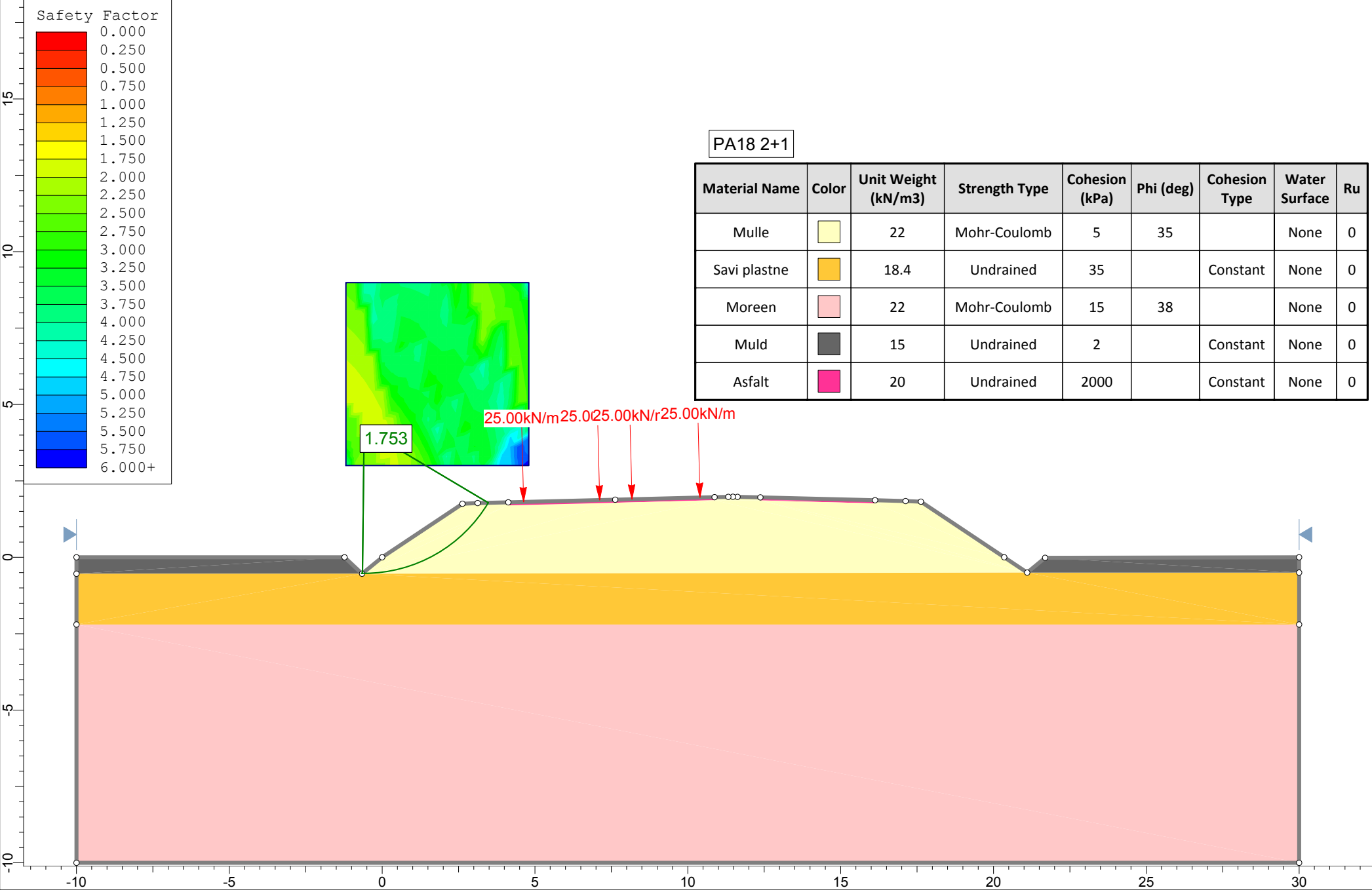


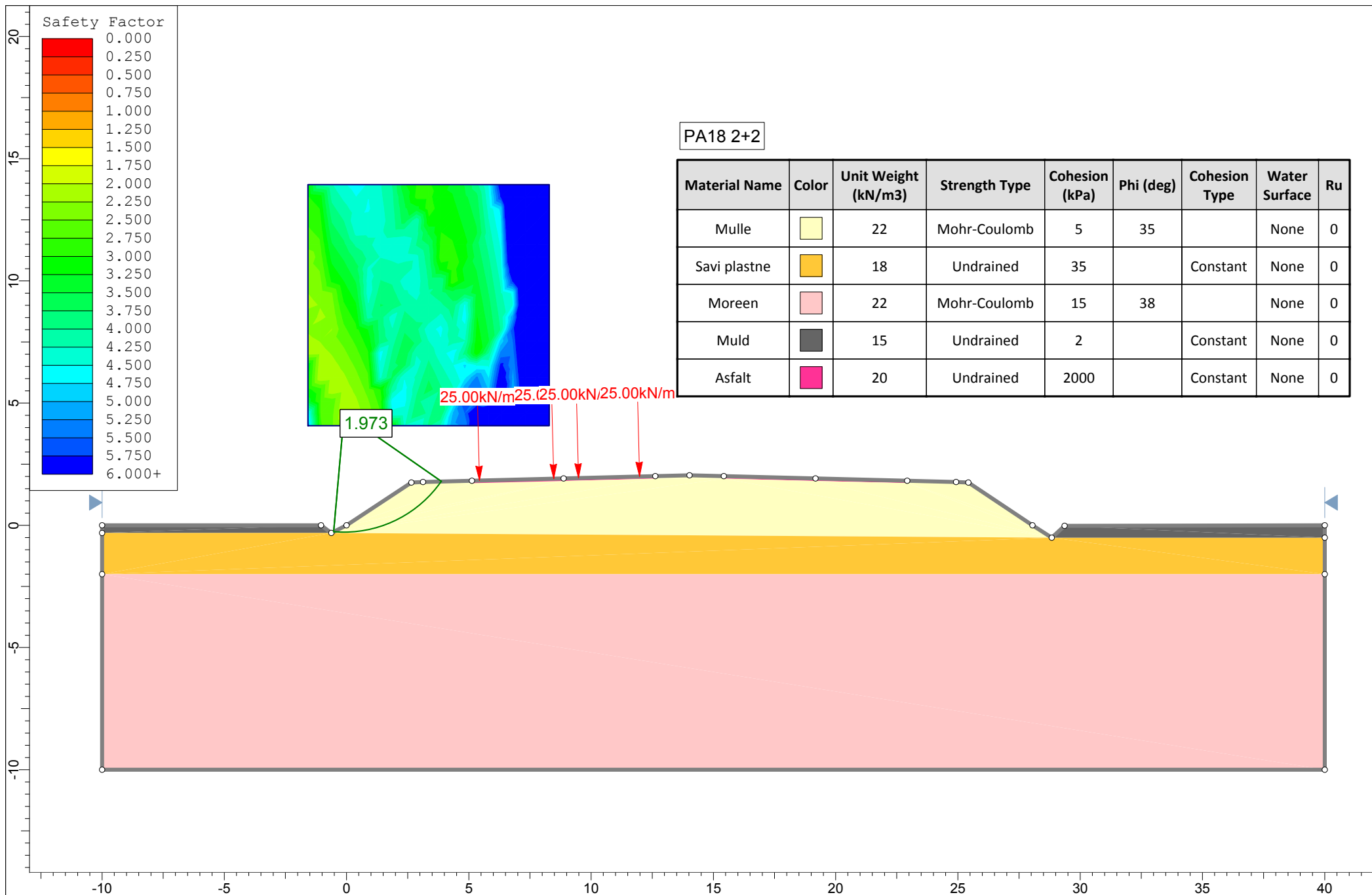


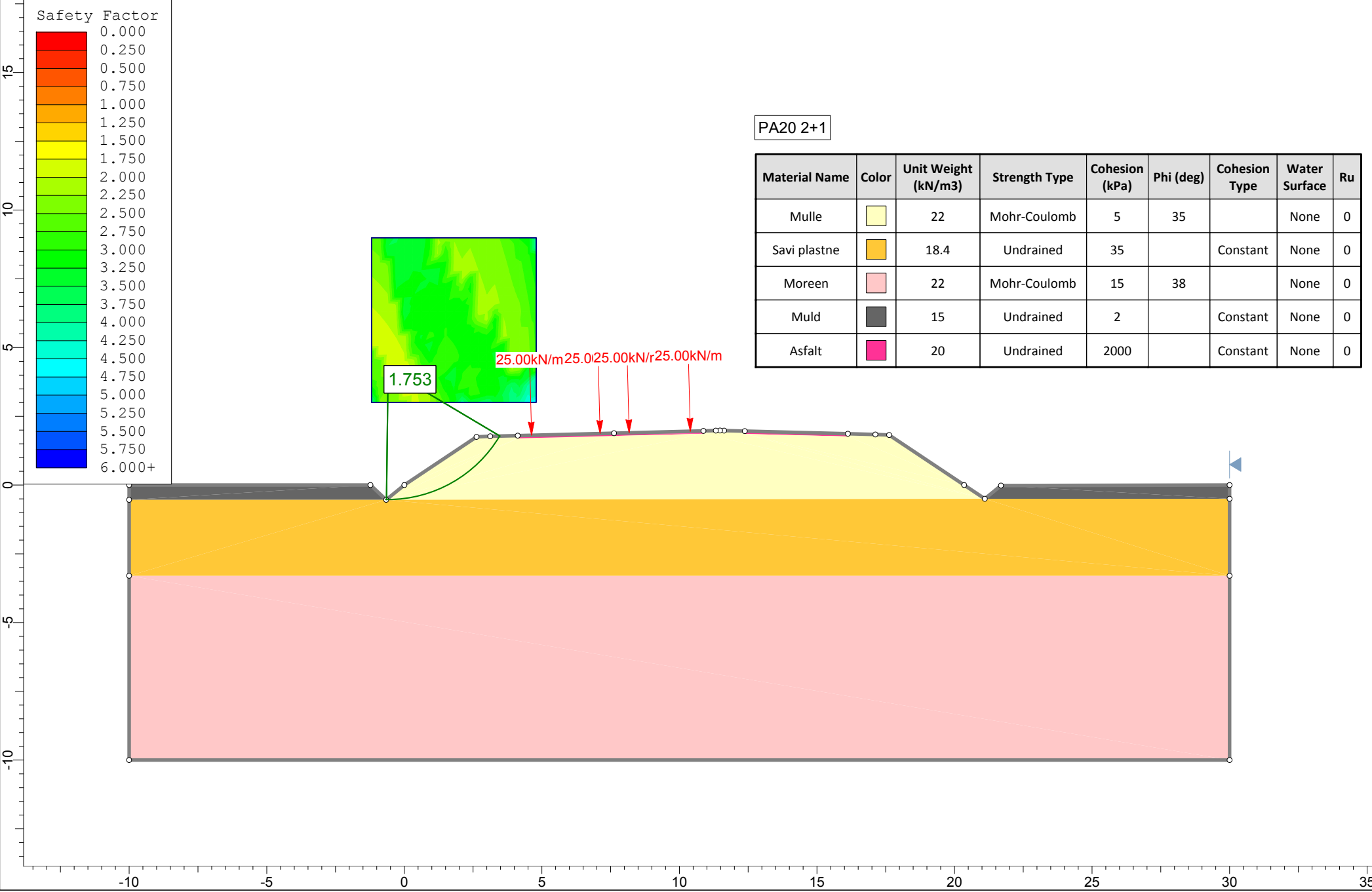


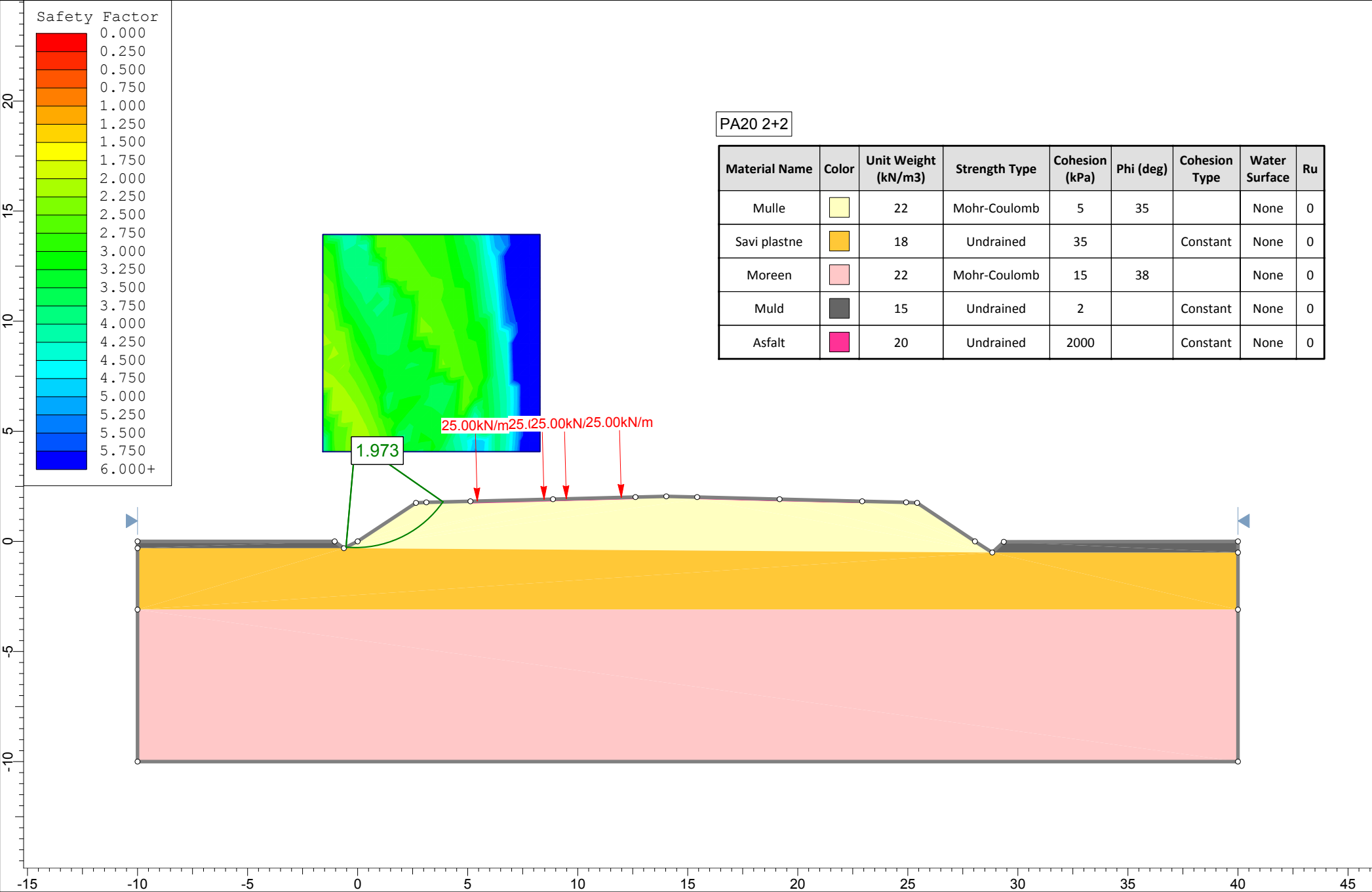


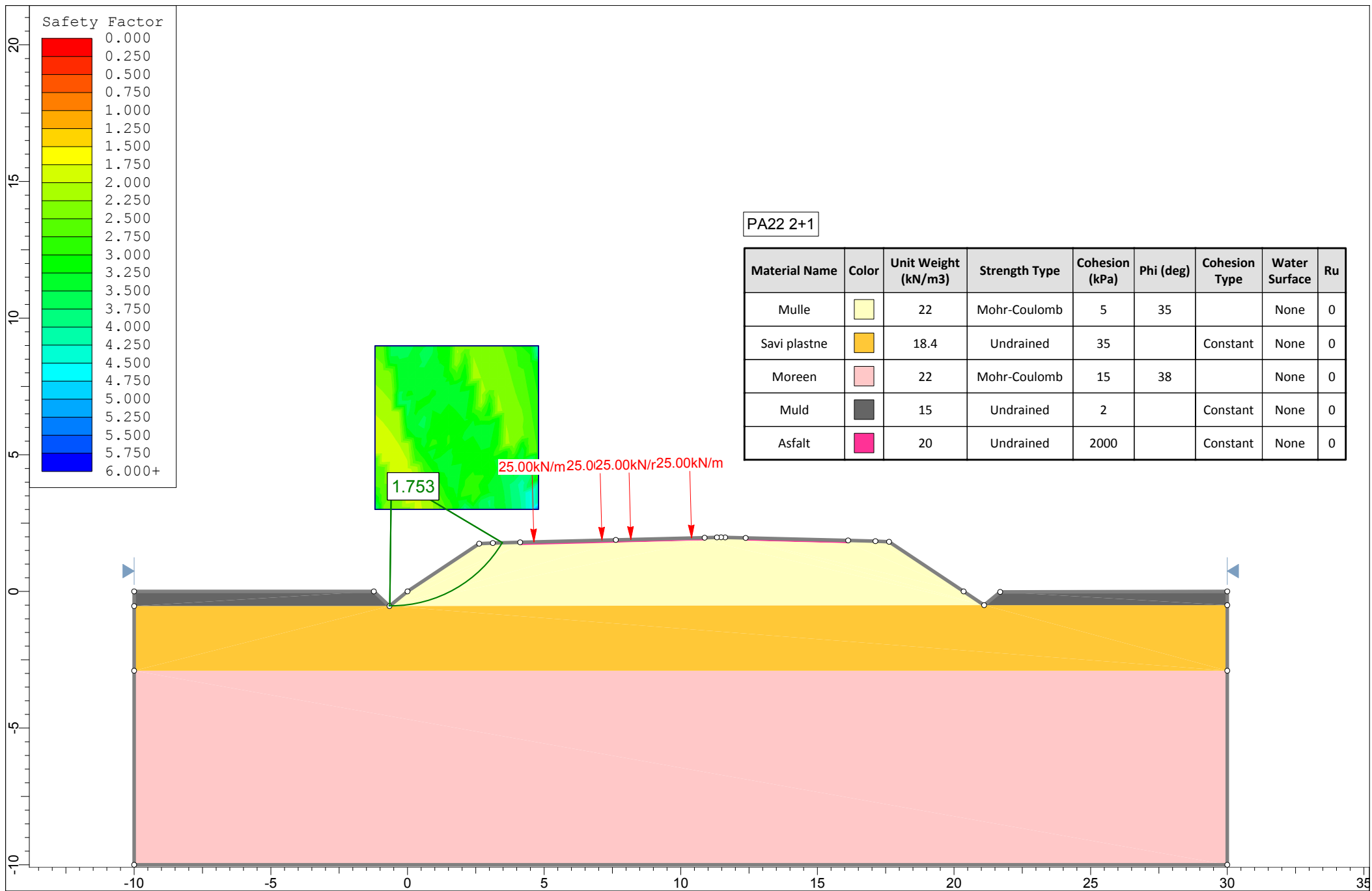


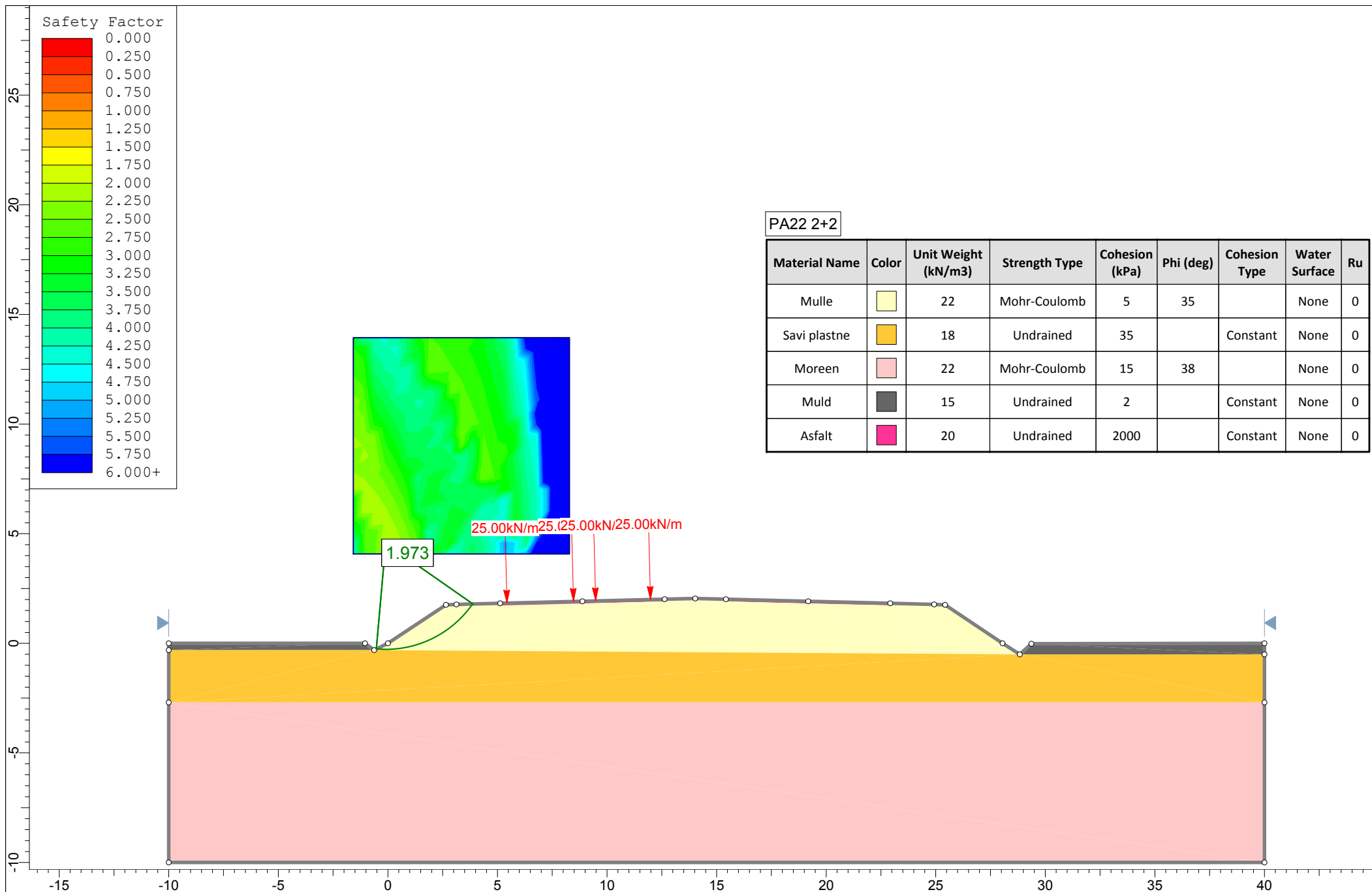


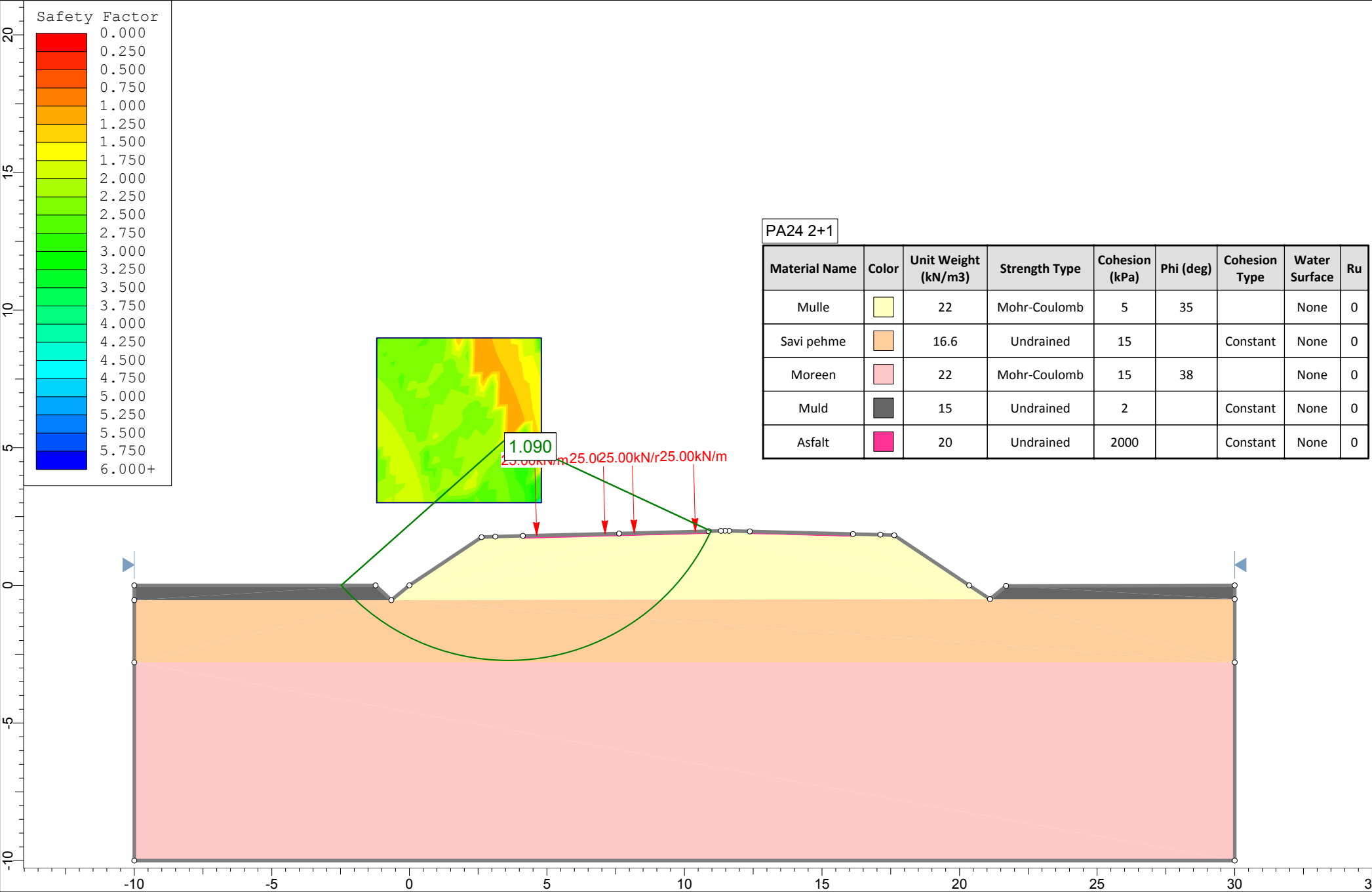


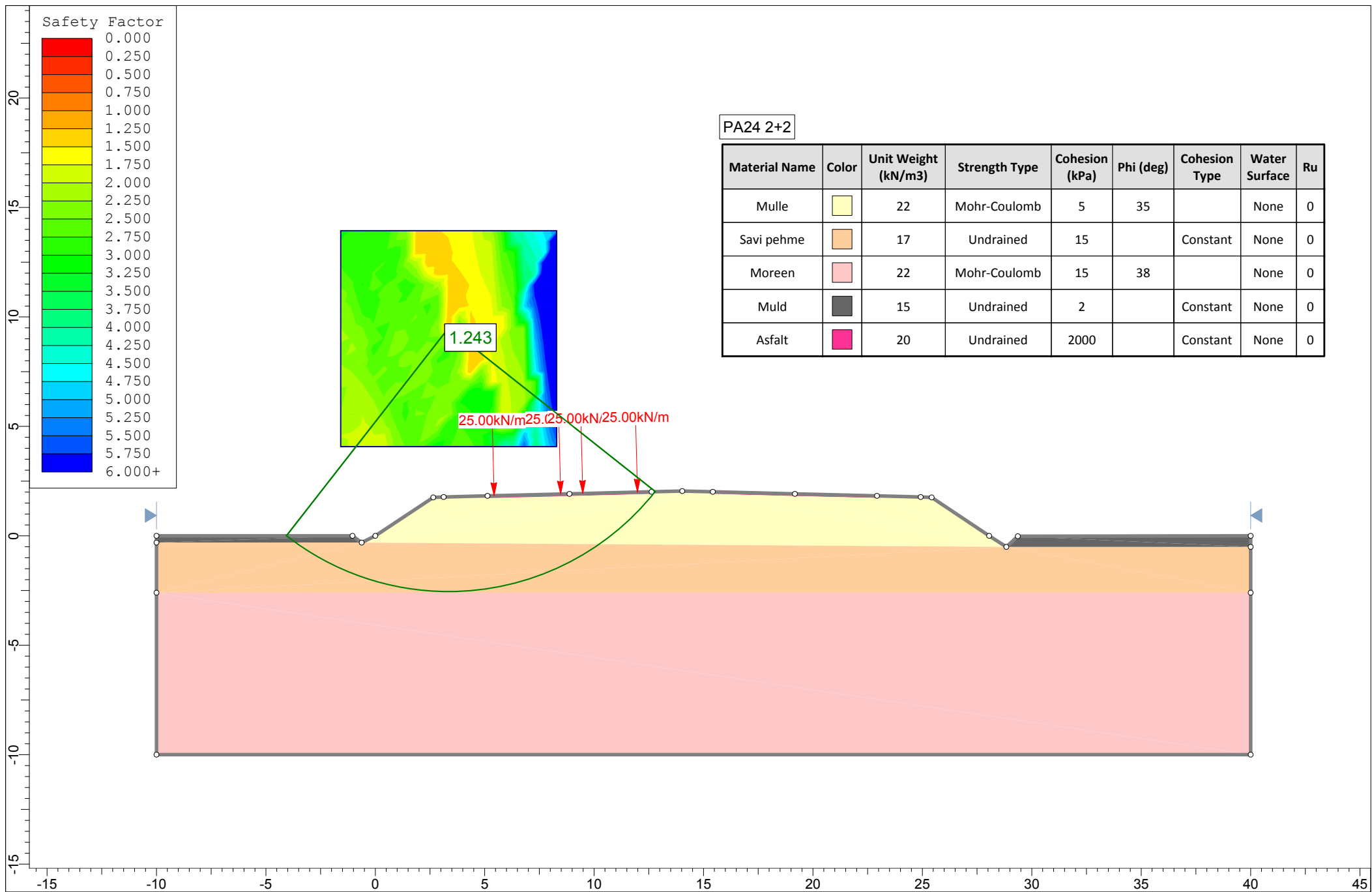


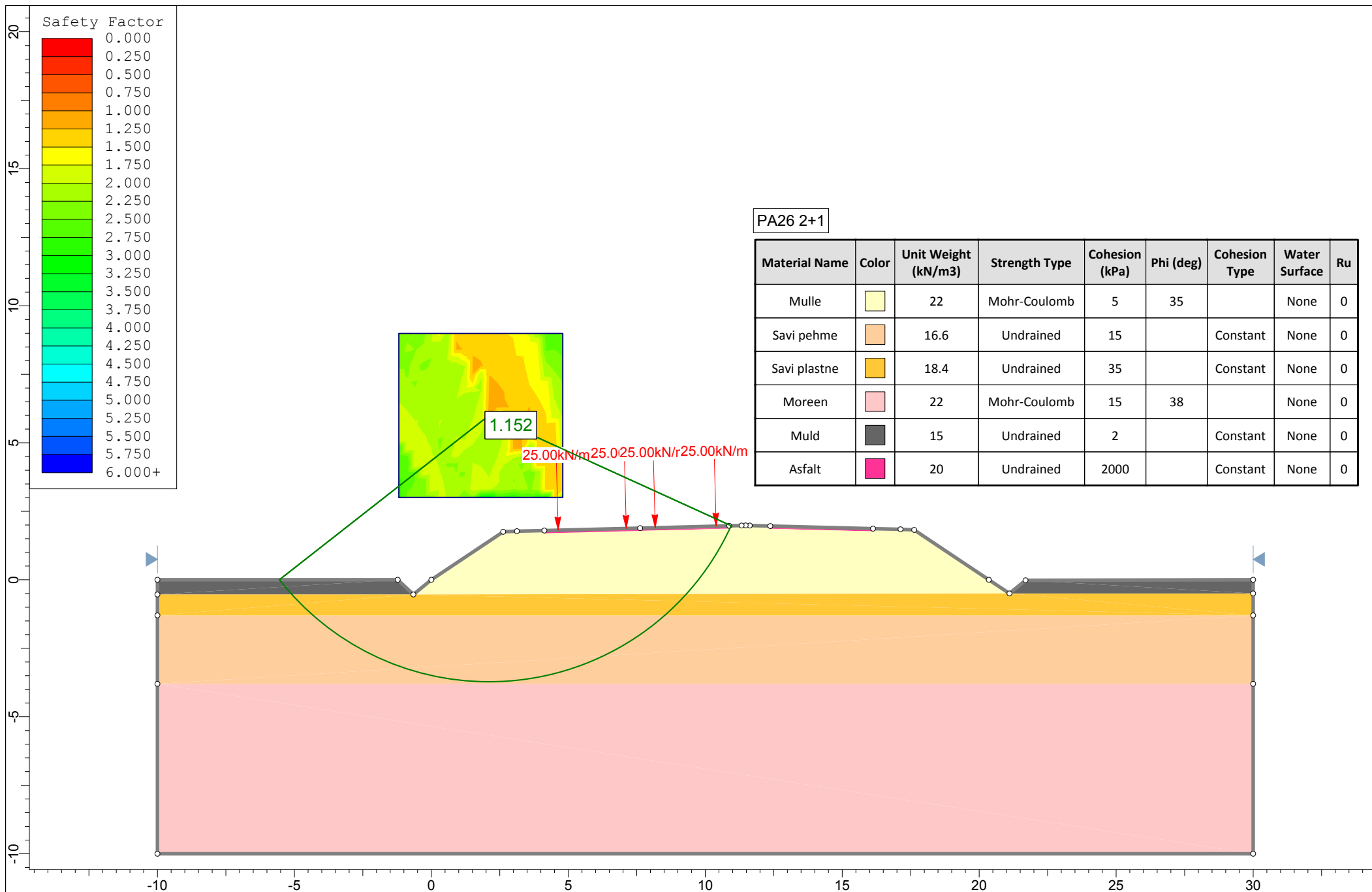


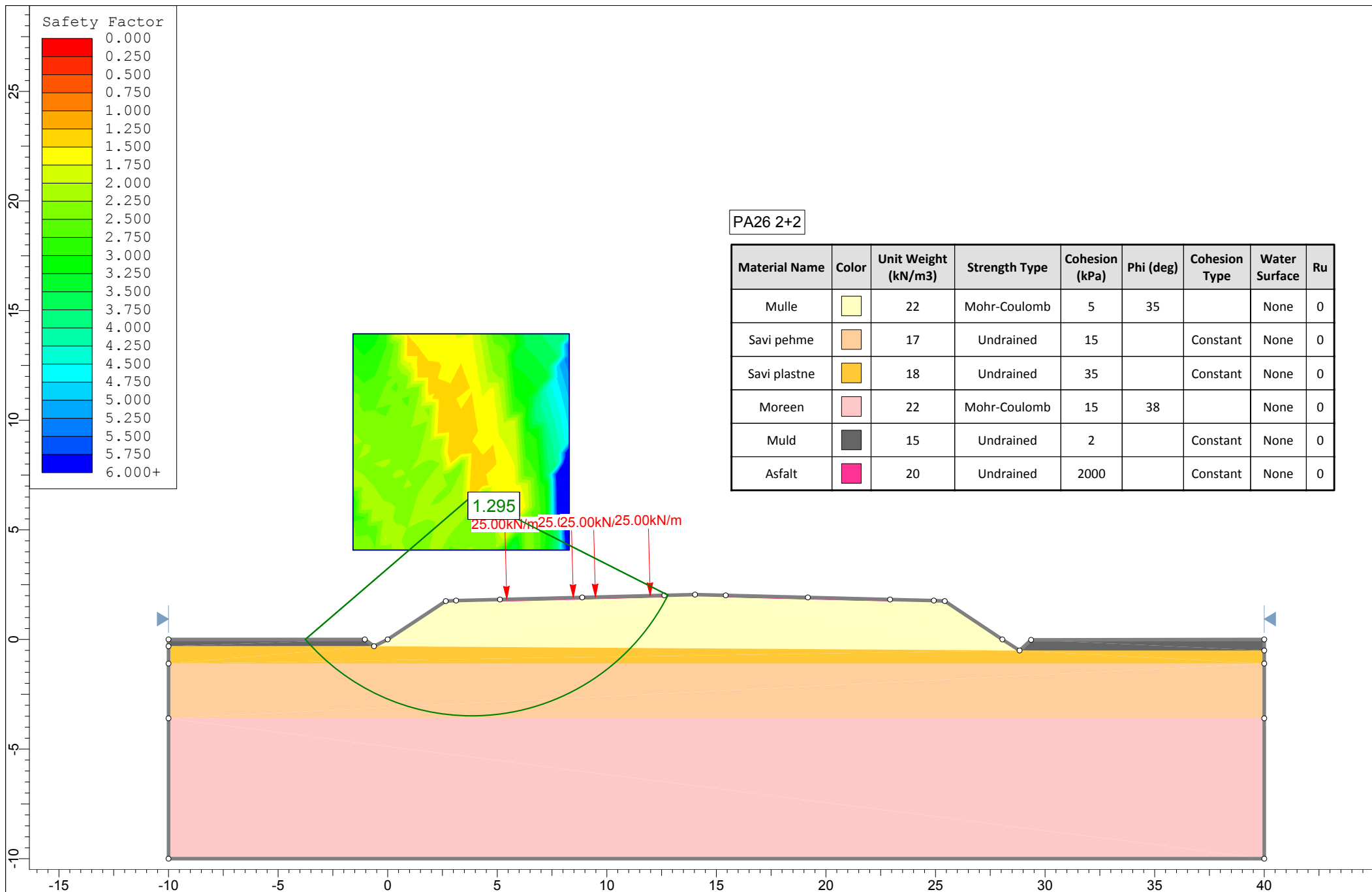


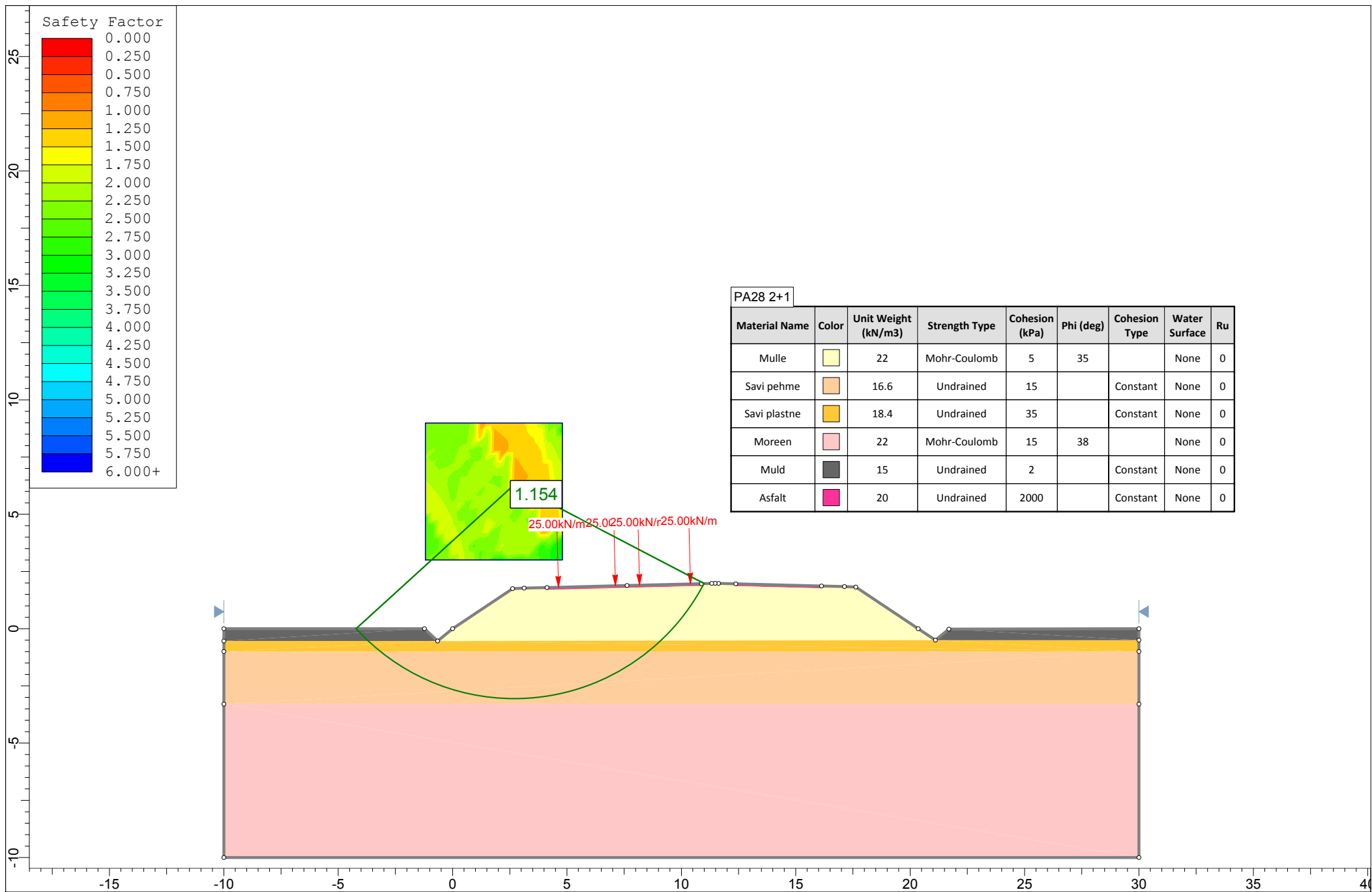


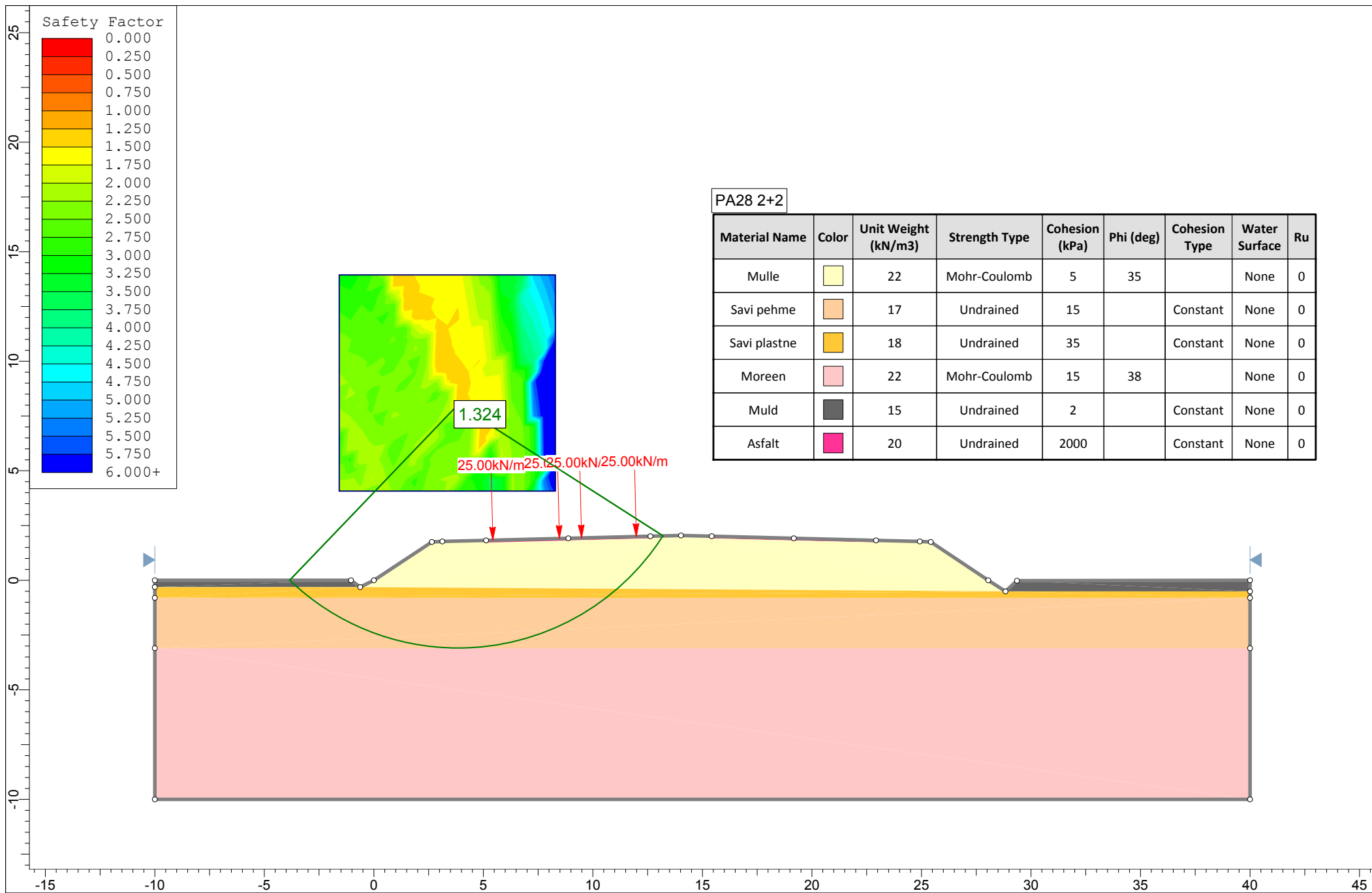


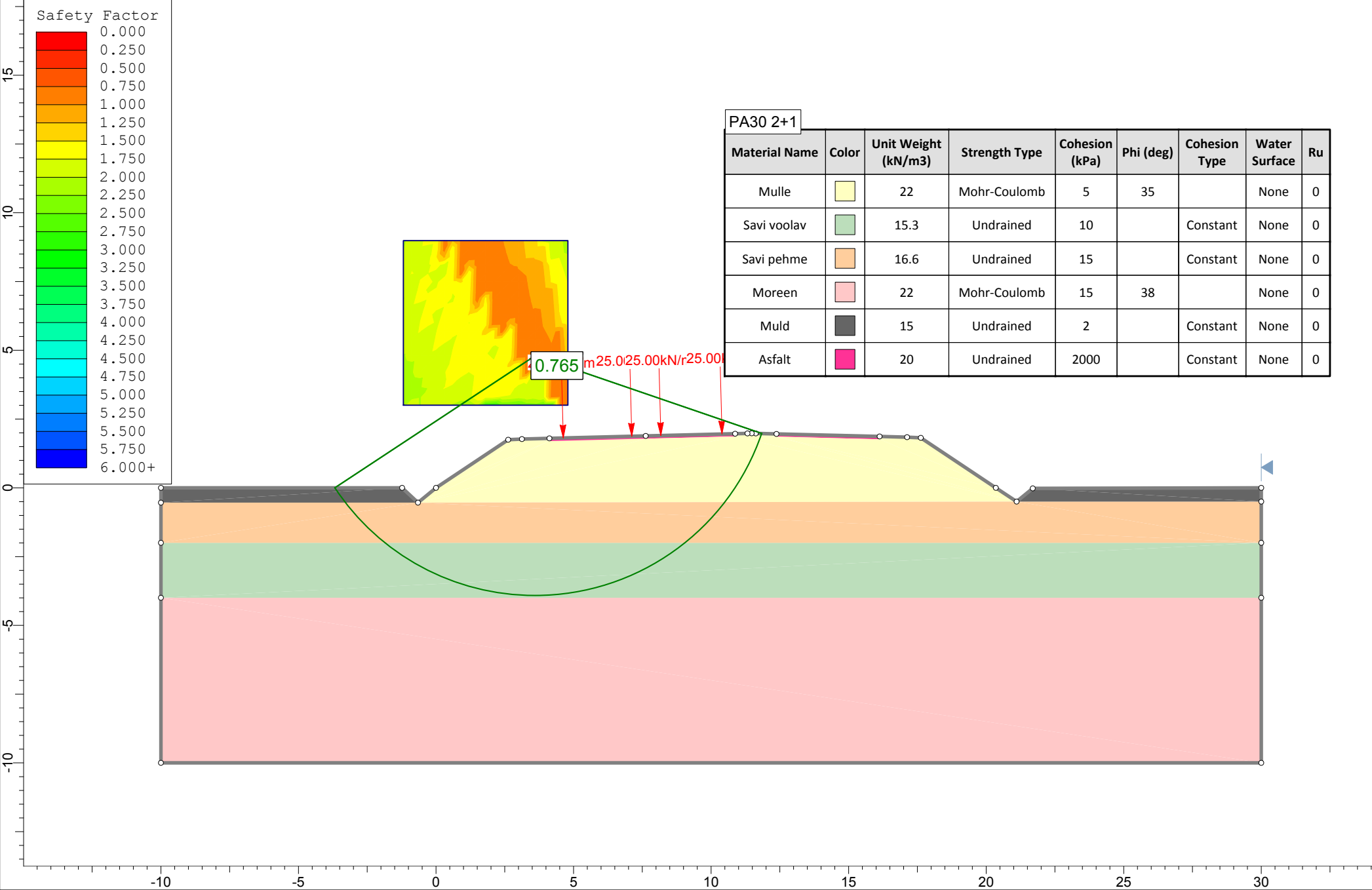


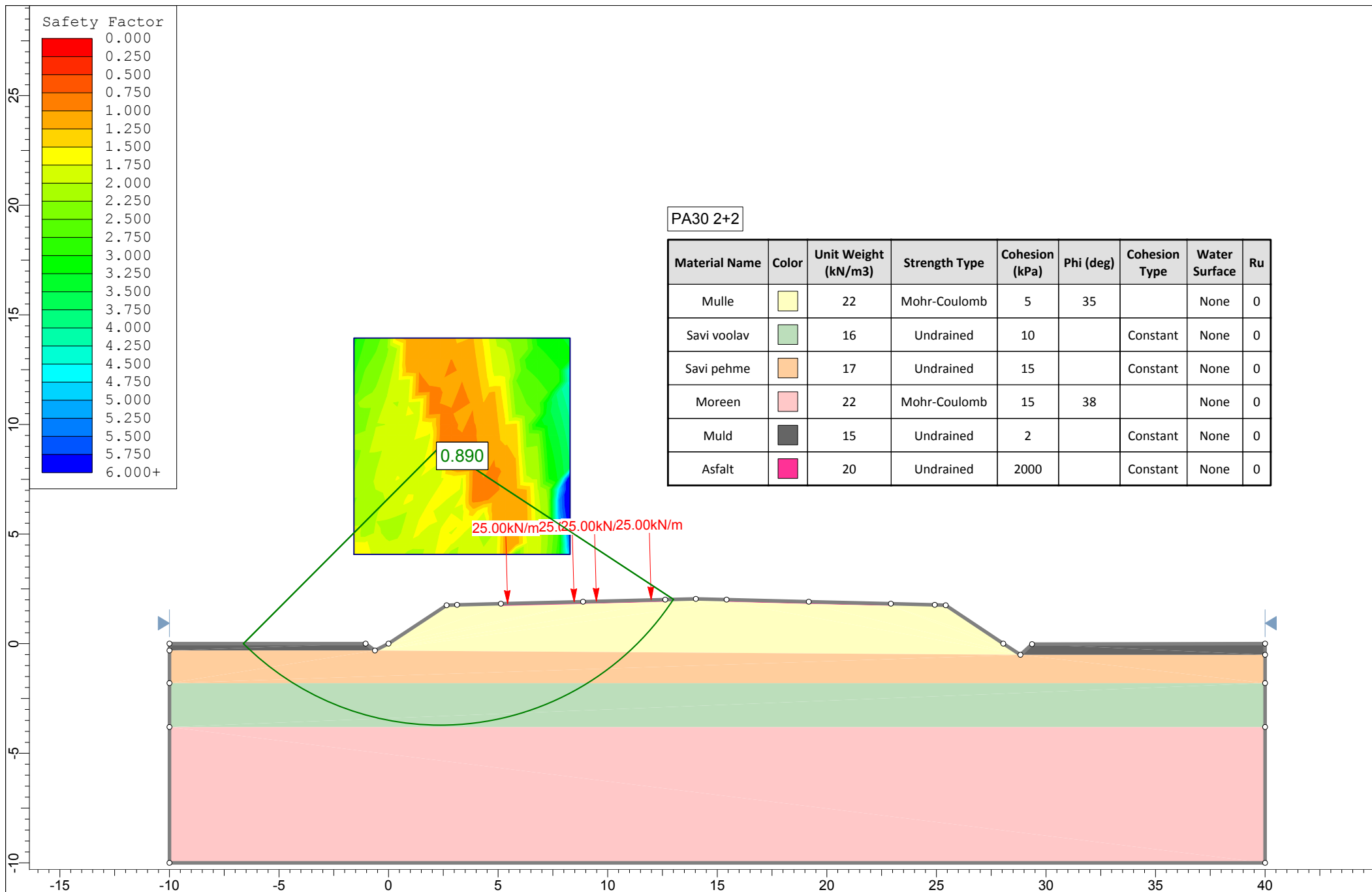


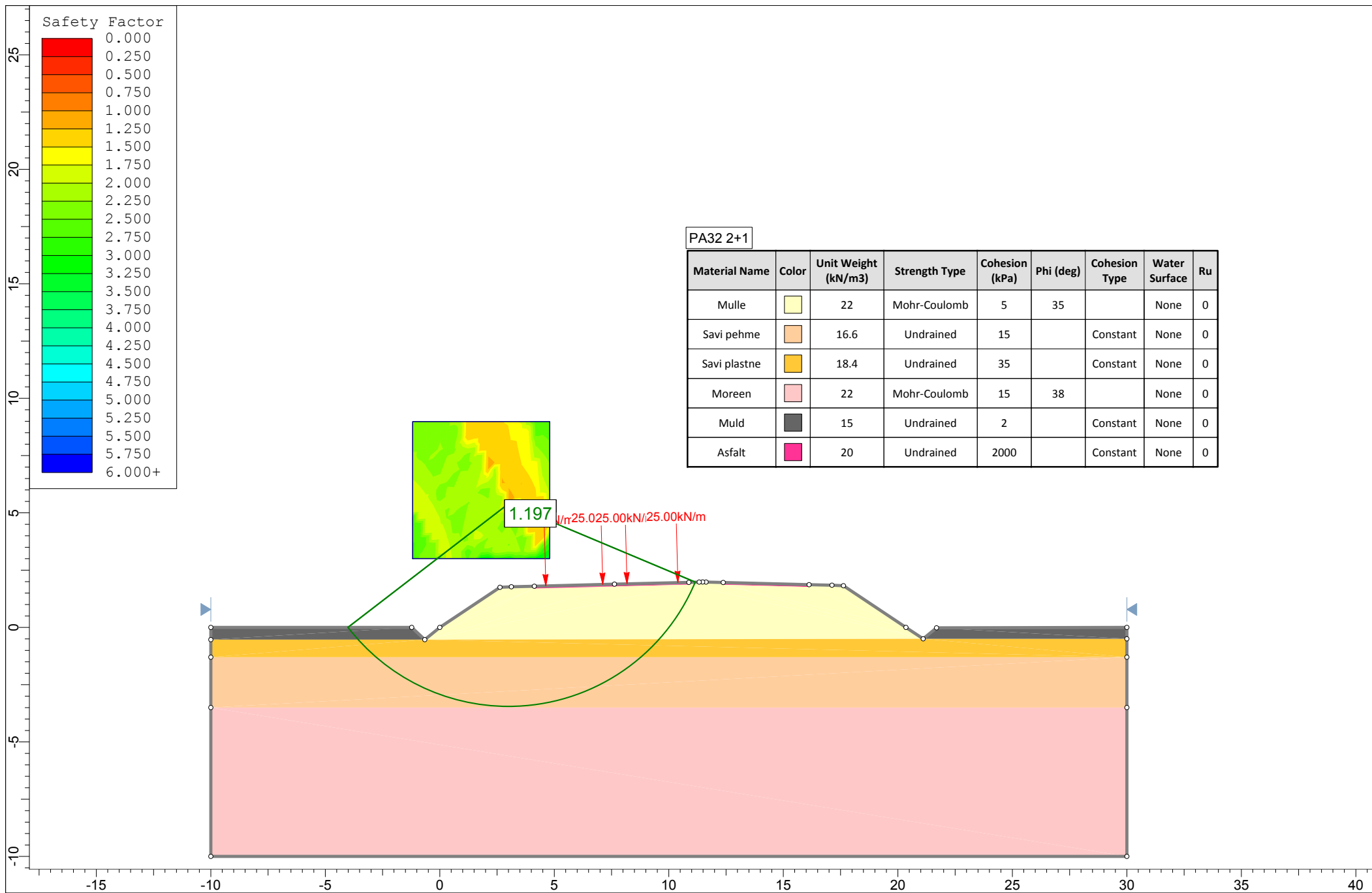


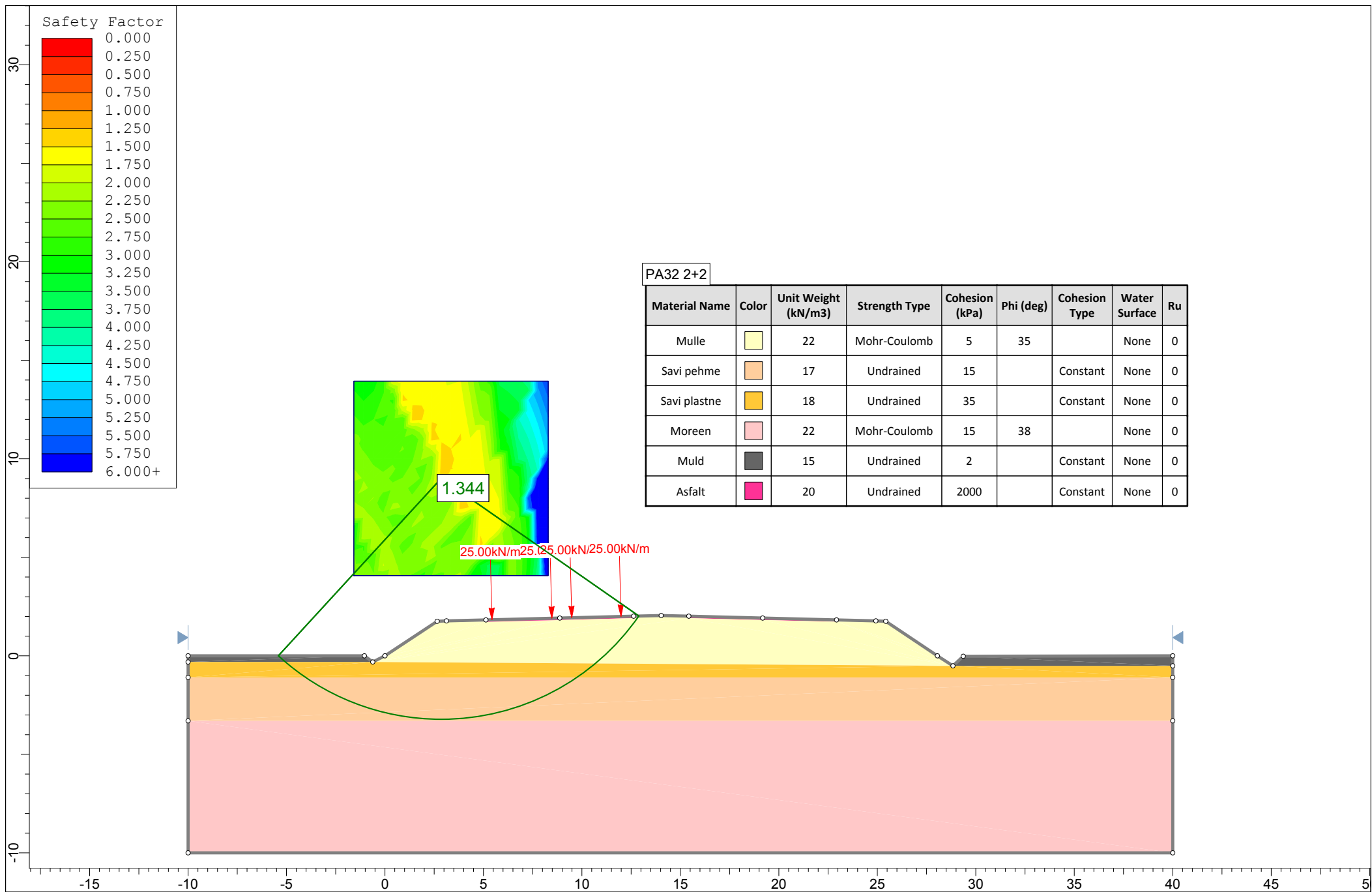


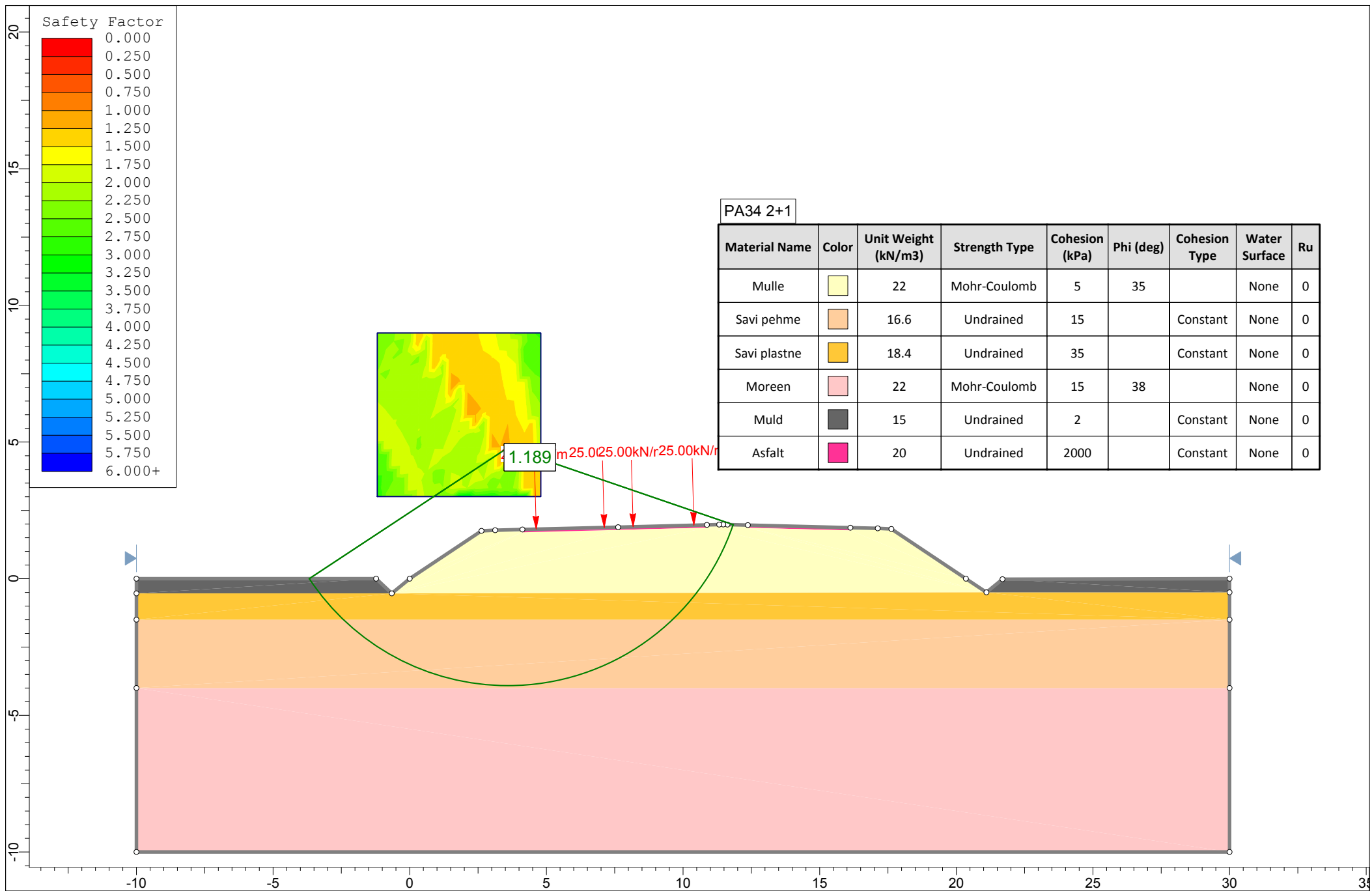


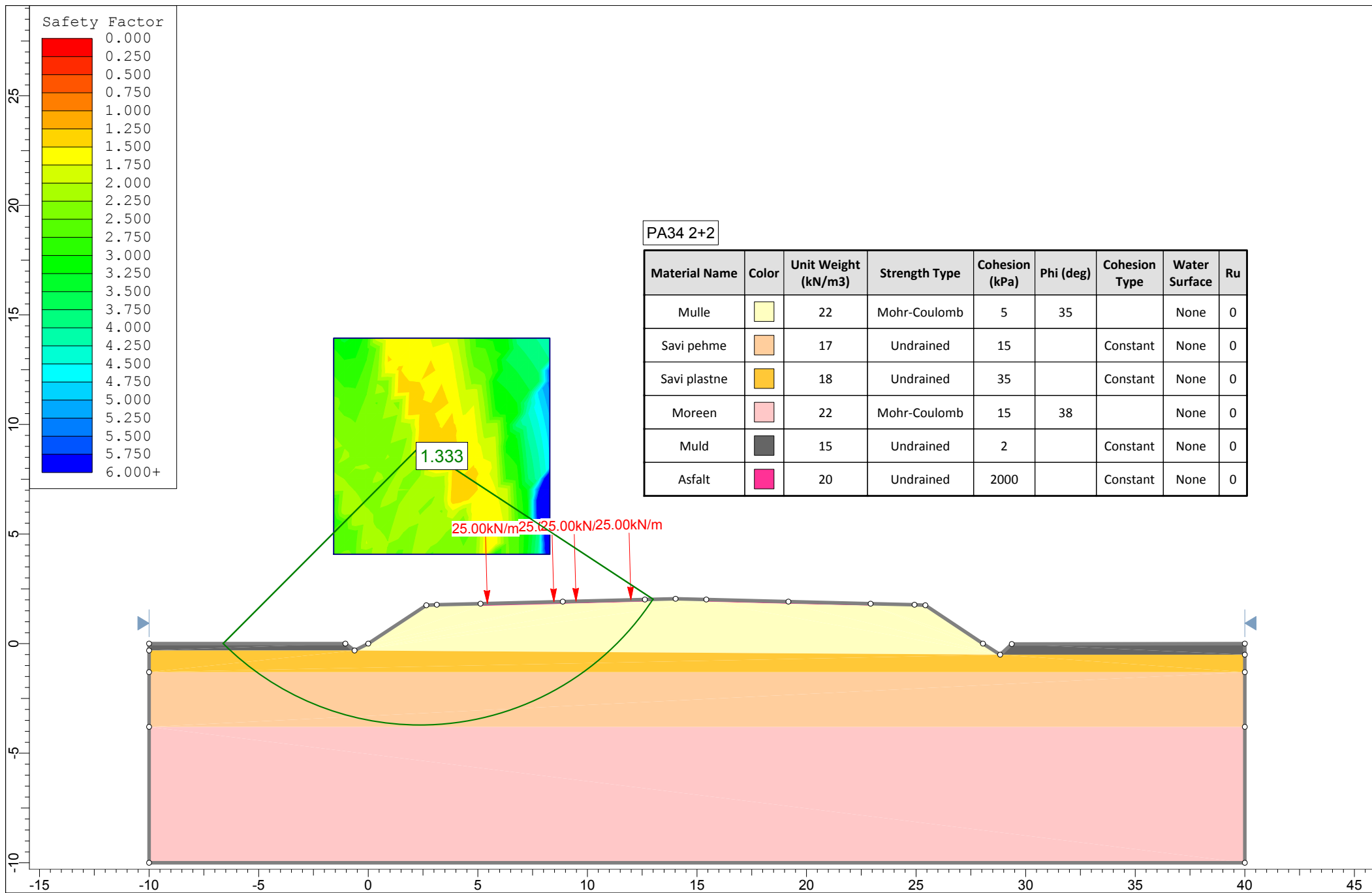


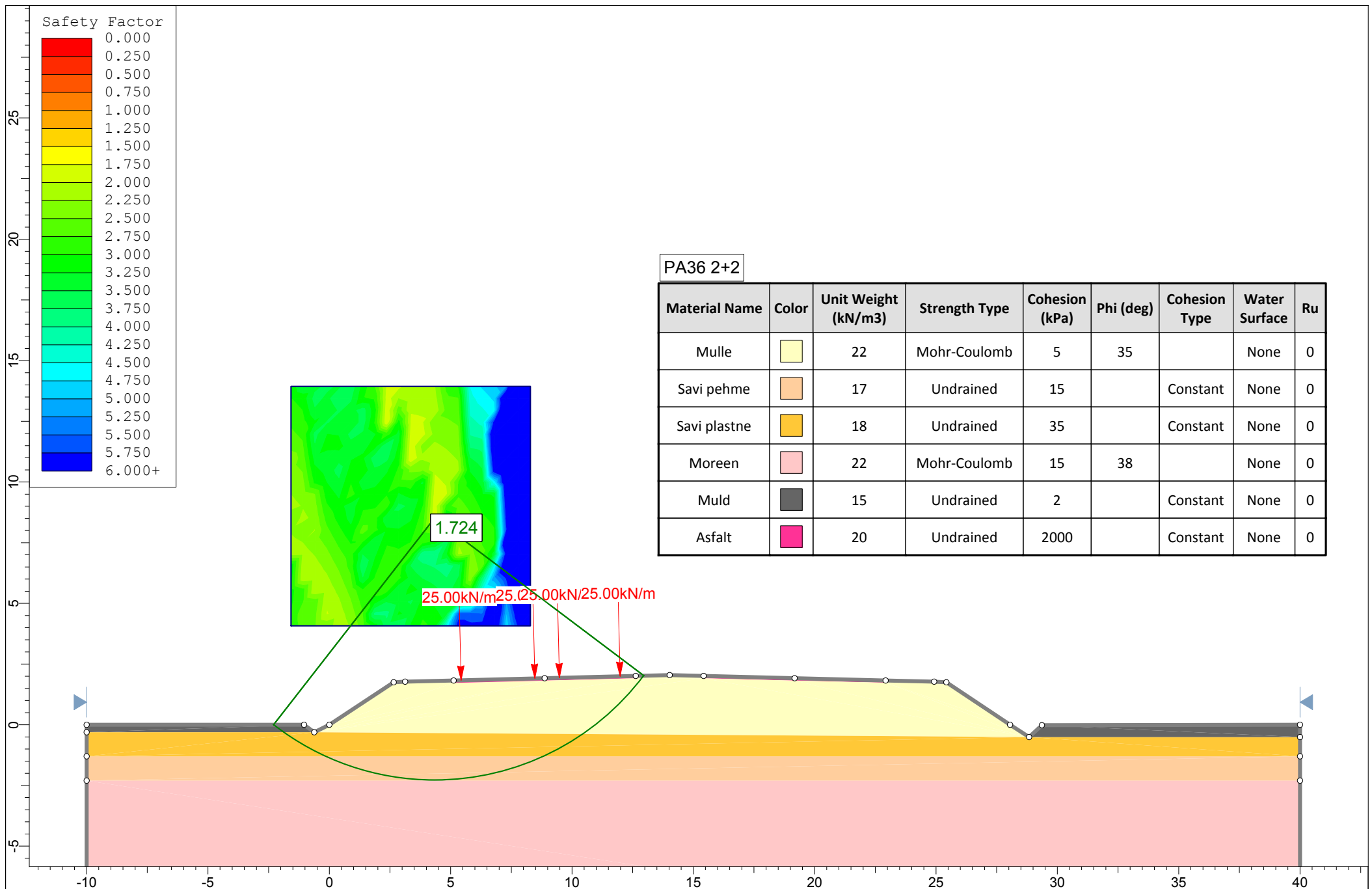


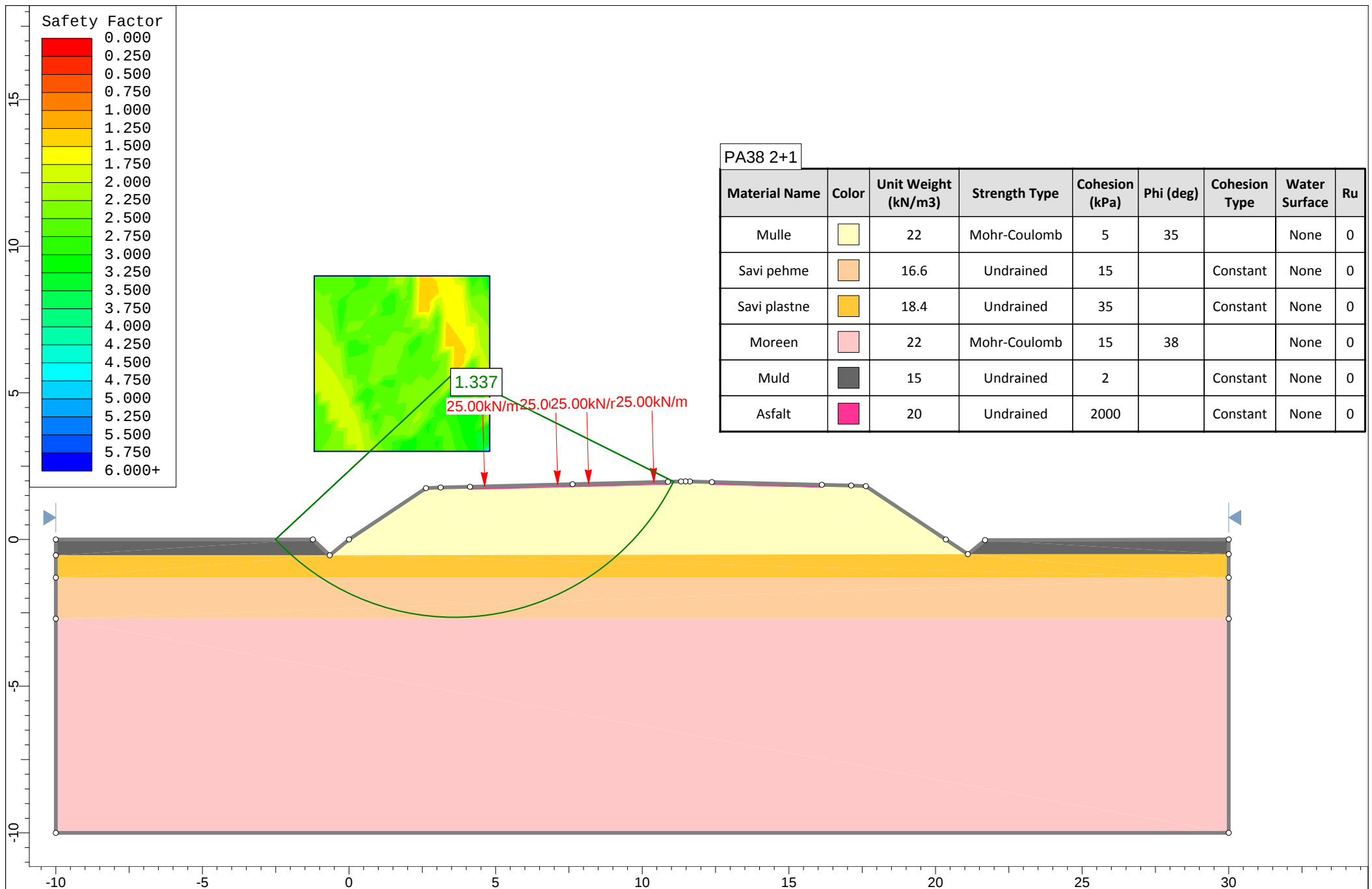


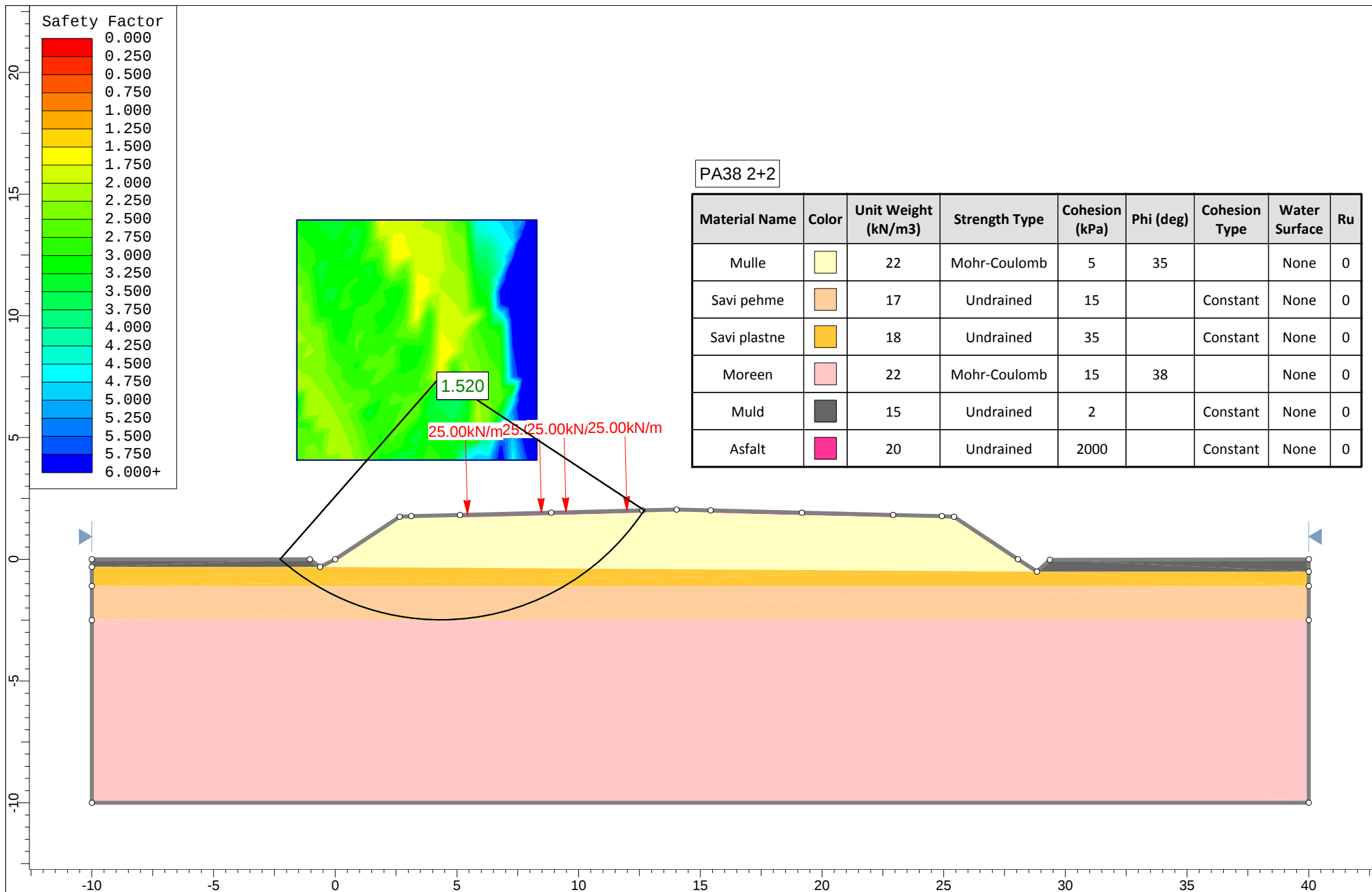


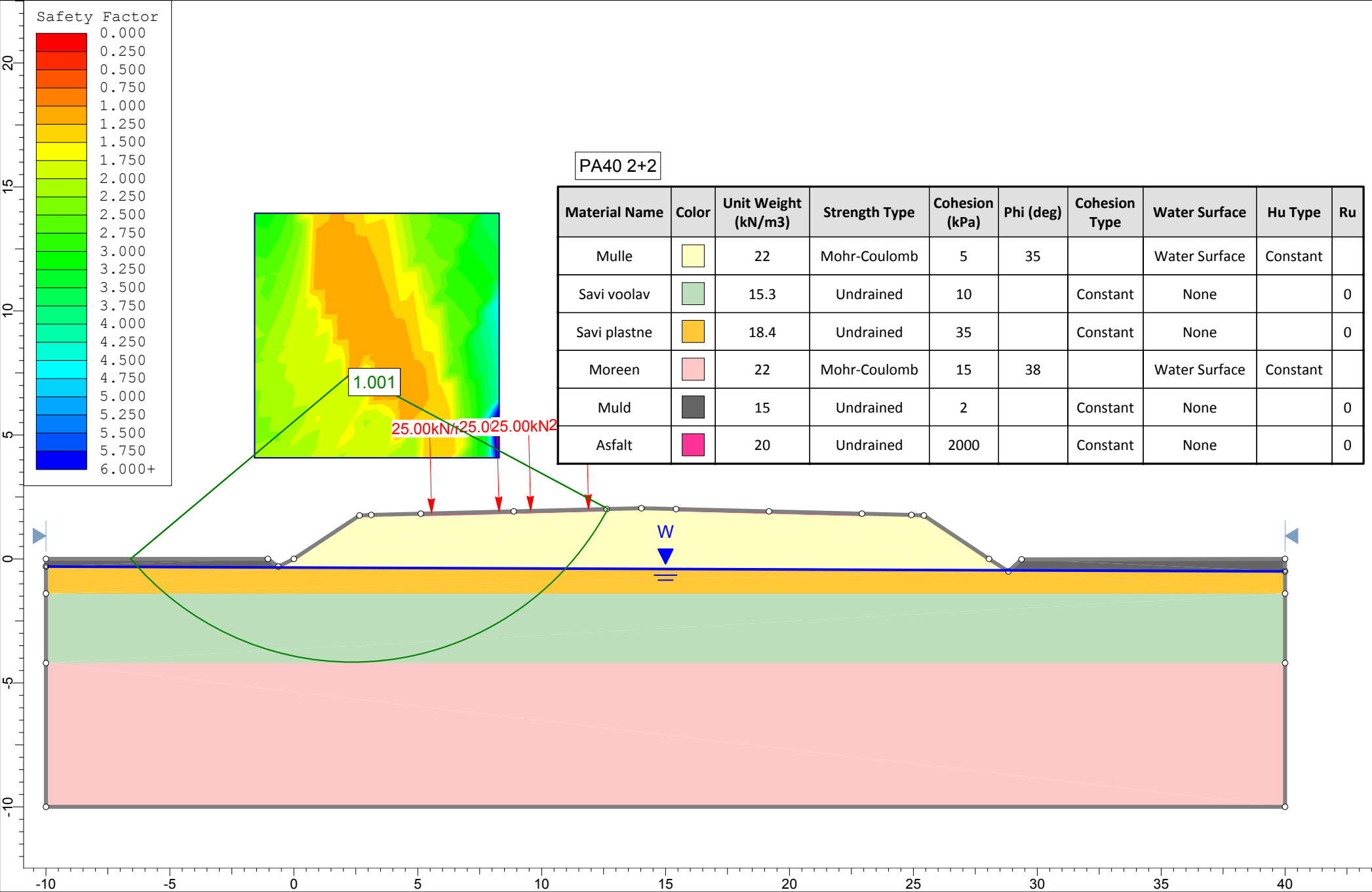












LISA 4. KAP arvutuslehed

KAP arvutused valitud konstruktsioonile. Valitud on kolm kattekonstruktsiooni. Esimesel juhul (kõrge mulle) on KAP arvutustel vajalik aluspinnasena käsitleda segatud täitematerjali. Teisel juhul (madal mulle) tuleb stabiliseeritud materjali kasutada võrdselt täitematerjaliga, kasutades elastsusmoodulit 150 (või 180) MPa. Aluspinnasena saab kasutada C-grupi aluspinnast. Arvutuste kriitiliseks faktoriks jääb külmakindlus. Kolmandal juhul (betoonkatend) KAP arvutusteks ei sobi.

KATENDI ARVUTUS - KAP v2.0										
Are										
Koorussagedus: 3000 normtelge ööp/raja			Pinnas: Gr - Kruuspinnas			Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A				
Maantee klass: 2		Tugevustegur: 1,00	Katendi omadused ei sõltu niiskuspäikkonnast			Ratta jälje läbimõõt: 37 cm				
Teekatendi liik: Püsikatend		Töökindlustegur: 0,95	Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: 0			Erisurve kattele: 0,6 MPa				
Lisainfo: Arvutuskohat PK...+...		Normhõlmetegur 1,71				Koormus: Dünaamiline, 0,85 paarisrata				
						Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0,9				
ARVUTUSE KÄIK										
Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast-susmoodul E _{kv} arvutamiseks	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast-susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe-pinged R _{max}	Lubata-vad tõmbe-pinged R _{lub}	Sise-hõõrde-nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Killustikmastiksfalt - SMA	3,0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	4,0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	11,5	1400	800	2200	0,6356	1,0013			
4	Kompleksstabi kiht asfaldipurust teel sega	15,0	700							
5	Paekillustik (LA≥35)	21,0	240							
ALUS	Gr - Kruuspinnas		150,0					43,0	0,010	8,0
ARVUTUSE TULEMUSED										
Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv	
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %				
				tarv	t _{lub}					
			Üldine elastsusmoodul			59,9%	478,71	299,40		
1	Killustikmastiksfalt - SMA	3,0					478,71			
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	4,0					442,80			
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	11,5	Asfaltbetooni tõmbepinged			36,5%	398,60			
4	Kompleksstabi kiht asfaldipurust teel sega	15,0					276,02			
5	Paekillustik (LA≥35)	21,0					183,05			
	Gr - Kruuspinnas		Nihkepinged aluspinnasel	0,0062	0,0296	78,9%			-	
	Katendi kogupaksus	54,5					Parandustegur Δ			
Arvutus külmakindlusele										
Hinnang külmakindlusele		Külmakindlusele vastavust ei arvutatud								
Arvutas: Ain Kendra										
Kuupäev: 29.09.2017										
MÄRKUSED:										
1. Materjalide ja kihtide täpsemad nimetused on toodud Elastsete katendite projekteerimisjuhendis 2017										
2. Tm - Täitematerjal										
3. Asfaltkatte ülakihile lisatakse kulumisvaru 1 cm (arvutatakse konstruktsioon ilma varu lisamata)										

KATENDI ARVUTUS - KAP v2.0										
Are										
Koorussagedus: 3000 normtelge õöp/rajale					Pinnas: C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid			Arvutusliku koormuse liik: Veoauto A		
Maantee klass: 2		Tugevustegur: 1,00		Niiskuspakkond: 2, niiske			Ratta jälje läbimõõt: 37 cm			
Teekatendi liik: Püsikatend		Töökindlustegur: 0,95		Summaarne parandus suhtelisele niiskusele: -0,02			Erisurve kattele: 0,6 MPa			
		Normhálbetegur 1,71		L1.T3 p1+p5; -0,05+0,03=-0,02			Koorumus: Dünaamiline, 0,85 paarisrata			
Lisainfo: Arvutuskoht PK...+...					Alumise asfaltkihi mat. tegur: 0,9					

ARVUTUSE KÄIK										
Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus	Kihi elast- susmoodul E _{ekv} arvutamiseks	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks nihkele	Kihi elast- susmoodul arvutamiseks paindele	Arvutatud tõmbe- pinged R _{max}	Lubata- vad tõmbe- pinged R _{lub}	Sise- hõõrde- nurk	Nidusus	Kihtide seotistegur K3
		cm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	Kraad	C	
1	Killustikmastiksasfalt - SMA	3,0	3200	1800	4500					
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	4,0	2400	1200	3600					
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	12,0	1400	800	2200	0,6258	1,0013			
4	Kompleksstabi kiht asfaldipurust teel sega	18,0	700							
5	Paekillustik (LA≥35)	21,0	240							
6	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	65,0	150					43,0	0,01	8,0
ALUS	C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		30,6					13,6	0,012	1,5

ARVUTUSE TULEMUSED									
Kihi nr.	Kihi nimetus	Kihi paksus cm	Tugevuse näitaja				Üldine elastsus-moodul Mpa	Vajalik elastsus-moodul MPa	Arvutuslik niiskus W1 või Warv
			Kriteerium	Nihkepinged MPa		Varu %			
				t _{arv}	t _{lub}				
			Üldine elastsusmoodul			49,6%	447,79	299,40	
1	Killustikmastikasfalt - SMA	3,0					447,79		
2	Tihe kuum asfaltbetoon - AC surf; AC bin	4,0					413,74		
3	Kuum poorne asfaltbetoon - AC base	12,0	Asfaltbetooni tõmbepinged			37,5%	371,02		
4	Kompleksstabi kiht asfaldipurust teel sega	18,0					248,21		
5	Paekillustik (LA≥35)	21,0					140,68		
6	Tm_150 [Gr - Kruuspinnas]	65,0	Nihkepinged	0,0022	0,0296	92,5%	94,38		
	C - kerge liivsavi, raske liivsavi, savid		Nihkepinged aluspinnasel	0,0040	0,0067	40,2%			0,784
	Katendi kogupaksus	123,0					Parandustegur Δ		0,024

Arvutus külmakindlusele			
1. Arvutuslik külmumissügavus (cm)	125	5. Katendi redutseeritud paksus (cm)	165
2. Kiimategur	75	6. Lubatud külmakerke suurus (cm)	4
3. Pinnase külmakerkelisuse iseloomustus	8,0	7. Arvutuslik külmakerke suurus (cm)	-7,9
4. Arvutuslik pinnasevee tase (cm)	125	8. Külmakindluse varu %	296,7%
* redutseeritud paksust korrigeeriti koefitsiendiga 0,8			
Hinnang külmakindlusele	Katendi külmakerge on lubatud piirides		

Arvutas: Ain Kendra Kuupäev: 29.09.2017

MÄRKUSED:

1. Materjalide ja kihtide täpsemad nimetused on toodud Elastsete katendite projekteerimisjuhendis 2017
2. Tm - Täitematerjal
3. Asfaltkatte ülakehile lisatakse kulumisvaru 1 cm (arvutatakse konstruktsioon ilma varu lisamata)