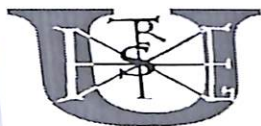


SZAKDOLGOZAT

Szórádi Mihály

2015



SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr. Dombay Gábor PhD.
intézetigazgató, főiskolai tanár



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST

Építőmérnöki Intézet

Cím: 1146 Budapest, Thököly út 74.

Tel.: +36-1-252-1270

e-mail: epitomernoki.intezet@ybl.szie.hu

SZAKDOLGOZAT KIÍRÁS 2015

Szórádi Mihály

Nappali Építőmérnök szakos
hallgató részére

A feladat címe: M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút tanulmány terve

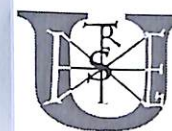
Belső konzulens: Dr. Horváth-Kálmán Eszter adjunktus

Külső konzulens: Dr. Horváth Tibor okl. mérnökgeológus, Geovil Kft.

A szakdolgozat beadási határideje: 2015. június 05., péntek 12⁰⁰

Budapest, 2015. június 1.

Dr. Dombay Gábor
intézetigazgató



SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr. Dombay Gábor PhD.
intézetigazgató, főiskolai tanár



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST
Építőmérnöki Intézet
Cím: 1146 Budapest, Thököly út 74.
Tel.: +36-1-252-1270
e-mail: epitomernoki.intezet@ybl.szie.hu

Részletes feladatkiírás

Szórádi Mihály

Nappali Építőmérnök
hallgató részére

M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút tanulmány terve

című szakdolgozatához

Bevezetés, téma ismertetése
Üzemi alagút nyomvonalváltozatainak elkészítése
A kiválasztott nyomvonal geotechnikai áttekintése, mérnökgeológiai tervének elkészítése
Üzemi alagút kivitelezési technológia változatainak bemutatása
A kiválasztott nyomvonal és kivitelezési technológia ismeretében az alagút falzatának tervezése
Alagút hatása a meglévő alagutakra
Összefoglalás

Beadandó munkarészek

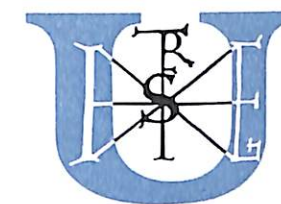
Számítási melléklet

Áttekintő helyszínrajz
Részletes helyszínrajz
Mérnökgeológiai hossz-szelvény
Egyesített hossz-szelvény
Alagút keresztmetszet
Alagút vasalási terv

M=1:2000
M=1:1000
Mh=1:200, Mv=1:1000
Mh=1:200, Mv=1:1000
M=1:20
M=1:10

Budapest, 2015. június 1.


Dr. Horváth-Kálmán Eszter
belső konzulens



SZENT ISTVÁN
EGYETEM



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST

SZÓRÁDI MIHÁLY

Építőmérnök BSc

M2 ÉS M4 METRÓVONALAKAT

ÖSSZEKÖTŐ ÜZEMI ALAGÚT

TANULMÁNY TERVE

Konzulens

Dr. Horváth-Kálmán Eszter

Adjunktus

Külső konzulens

Dr. Horváth Tibor

Budapest, 2015

Tartalomjegyzék

TARTALOMJEGYZÉK.....	2
1. BEVEZETÉS	4
2. FELDOLGOZOTT FELADATRÉSZEK	5
3. ALAGÚT ELHELYEZKEDÉSE	5
3.1. BUDAPEST ÉGHAJLATA	6
3.2. BUDAPEST DOMBORZATI VISZONYAI:	6
3.3. BUDAPEST ÉS A DUNA KAPCSOLATA	7
4. BUDAPEST KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉSE.....	8
4.1. KÖTÖTPÁLYÁS KÖZLEKEDÉSI MÓDOK NÉHÁNY ELEME ÉS AZOK JELLEMZÉSE:	8
4.2. KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉS FEJLESZTÉSE	9
4.3. BUDAPESTI METRÓHÁLÓZAT MEGLÉVŐ VONALAI.	10
4.3.1. Milleneumi földalatti	10
4.3.2. M2 metró, a kelet-nyugati vonal	10
4.3.3. Budapest második „igazi” metrója a hármas vagy „kék metró”	12
4.3.4. M4 metró.	14
5. ALAGÚTÉPÍTÉS TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE	16
6. ALAGÚTÉPÍTÉSI MÓDSZEREK.....	19
6.1. HAGYOMÁNYOS ÉPÍTÉSI MÓDSZEREK	19
6.1.1. Hagyományos alagútépítés elemei.....	19
6.1.2. Belga módszer	20
6.1.3. Német vagy maghagyó építési módszer.....	21
6.1.4. Új osztrák alagútépítési módszer.....	21
6.2. PAJZSOS ALAGÚTÉPÍTÉS	23
6.2.1. TBM (Tunnel Boring Machine) főbb alkotórészei.....	24
6.2.2. Fúrópajzsok néhány főbb típusa röviden	24
7. ÜZEMI ÖSSZEKÖTŐ ALAGÚT NYOMVONALA	26
7.1. KORÁBBI TERVEK	26
7.2. KIINDULÁSI ADATOK	26
7.3. NYOMVONAL HELYSZÍNRAJZI KIALAKÍTÁSA.....	26
7.3.1. Választott nyomvonal	27
7.4. MAGASSÁGI VONALVEZETÉS.	27
7.5. FELSZÍN BEÉPÍTETTSÉGE	27
8. BUDAPEST GEOLÓGIÁJA.....	29
9. ALAGÚT GEOTECHNIKÁJA	31
9.1.1. Elvégzett terepi vizsgálatok áttekintése	31
9.1.2. Geotechnikai viszonyok.....	32
9.1.3. Tektonizmus.....	32
9.1.4. Talajfizikai paraméterek	33
9.1.5. Geotechnikai modell	34

9.1.6.	Talajvíz viszonyok	34
10.	ALAGÚT ELŐKÉSZÍTÉSE SZÁMÍTÁSRA	36
10.1.	ÉPÍTÉSI MÓDSZER	36
10.2.	ALAGÚT SZELVÉNY	36
10.3.	ALAGÚTRA HATÓ ERŐK	38
10.3.1.	Terzaghi féle kőzetnyomás	38
10.3.2.	Protodjakonov kőzetnyomás elmélet	39
10.3.3.	Földnyomás Geo5-ben	41
10.4.	ANYAGMODELLEK	42
10.4.1.	Mohr-Coulomb modell	42
10.4.2.	Drucker-Prager talajmodell	43
11.	ALAGÚT VIZSGÁLATA	45
11.1.	GEO5 PROGRAM	45
11.2.	LEFUTTATOTT SZÁMÍTÁSOK	46
11.2.1.	Számításlépései	47
11.3.	ALAGÚT ÁLLÉKONYSÁGA	51
11.4.	MÉRTÉKADÓ IGÉNYBEVÉTELEK	51
11.4.1.	Igénybevételek a mértékadó metszetben	52
11.5.	FALAZAT MÉRETEZÉSE	54
11.5.1.	Tervezési módszer	54
11.5.2.	Betonminőség	54
11.5.3.	Vasalás számítása	55
11.6.	TALAJCSAVAROK	59
11.7.	ALAGÚT VÉGLEGES FALAZATA	60
11.8.	SÜLLYEDÉSEK KIALAKULÁSA AZ ALAGÚTÉPÍTÉS KÖVETKEZTÉBEN	61
11.8.1.	Limanov süllyedésszámítás	61
11.9.	MOZGÁSOK NYOMON KÖVETÉSE.	63
11.9.1.	Alakváltozás	64
11.10.	ALAGÚT HATÁSA A MÁR MEGLÉVŐ ALAGUTAKRA.	65
11.10.1.	Vizsgált esetek	65
11.10.2.	Számítások értékelése	66
12.	ÖSSZEFOGLALÁS	68
13.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	70
14.	FELHASZNÁLT IRODALOM	71
	ÁBRAJEGYZÉK	73
	KAPCSOLÓDÓ RAJZI MELLÉKLETEK	74
	KÉPI MELLÉKLET	75
	SZÁMÍTÁSI MELLÉKLET	77

1. Bevezetés

Dolgozatom témája: Budapest Deák Ferenc teret a Kálvin térrel összekötő üzemi metró alagút, mely a Kelet-Nyugat irányú vonal és a Dél-Buda-Rákospalota vonalak között teremtené kapcsolatot. Témaválasztásom azért esett az alagútépítésre mert eddigi tanulmányaim során felkeltették az érdeklődésemet az alagútépítés világa. A szakdolgozattal szerettem volna kicsit közelebb kerülni a ehhez a témához. Az üzemi alagút megvalósíthatóságát korábban vizsgálták, ám a 4-es vonal építésének elhalasztása miatt a tervek részletes kidolgozására, és a megépítésre nem került sor. Nemrégén átadták a 4-es metró első szakaszát, és ezzel valamint a további szakaszok építésével, egyre inkább aktuálissá válhat az alagút újbóli átgondolása. Az üzemi alagút megépítésével biztosított lenne az üzemi kapcsolat a három nagy vonal között. Az ilyen kapcsolatokra üzemfenntartási, üzembiztonsági és szerelvény rendezési szempontok miatt van szükség.

2. Feldolgozott feladatrészek

A dolgozat első felében érintőlegesen néhány gondolattal bemutatom Budapestet és a kötöttpályás közösségi közlekedés elemeit. Különböző szempontok szerint bemutatom a már meglévő metróhálózatot. Néhány jelentős momentum kiemelésével ismertetem az alagútépítés történetét. Bemutatom az alagútépítési módszereket.

A dolgozat másik részében az üzemi alagúttal foglalkozom. E résznek a célja az alagútra ható igénybevételek meghatározása, falazat méretezése, és a várható süllyedések vizsgálata. A dolgozat során az üzemi alagút tiszta alagúti szakaszát vizsgálom, a már meglévő alagutak kicsatlakozási műtárgyainak problémáit nem érintem.

3. Alagút elhelyezkedése

A tervezett alagút Budapesten helyezkedik el körülbelül 1.5 km hosszúságú. Összeköttetést biztosít az M2-es (10,3km) és az M4-es (jelenleg 7,4km) metróvonalak között. Mivel ez a létesítmény két, Budapest életében jelentős közlekedési útvonalat kapcsol össze, fontosnak tartom Budapest várost, és a budapesti metrókellő mélységben általánosan is bemutatni.

Budapest Magyarország fővárosa, és az ország legnépesebb, legnagyobb kiterjedésű települése. Területe körülbelül 525 km², népessége 1,7-1,8 millió főre tehető. Mivel a magyar lakosság 1/5-e él Budapesten, nem meglepő hogy több szempontból központi szerepet tölt be az ország életében ilyen szempont például: kultúra, politika, oktatás, kereskedelem és a közlekedés. Ezen központi szerepek betöltéséhez nagyban hozzájárul Budapest központi elhelyezkedése az országon belül, illetve a városban összefutó sugaras úthálózat. Budapest a Duna két oldalán terül el, a folyón 12 közúti és 2 vasúti híd ível át. Ezen hidak, és a hidakon alkalmazott megoldások jó része hordozott valamilyen újítást, amelyek a maguk korában világsők, világszínvonalúak voltak. A Duna alatt két metróvonalon, a kettős és a négyes alagútjain is átkelhetünk Pestről Budára, vagy az Budáról Pestre. Az országban egyedül itt szolgálja a közösségi közlekedést metróhálózat.

3.1. Budapest éghajlata

Budapest mérsékelt évi kontinentális éghajlattal rendelkezik. A város éghajlata egyszerre tükrözi Budapest természeti, elsősorban földrajzi, domborzati viszonyait, és a nagyváros mint mesterséges közeg éghajlat módosító hatásait. Napsütéses órák száma körülbelül 2000 óra/év, évi középhőmérséklet 11°C, legmelegebb hónap a július 20°C, leghidegebb pedig a január -2,5°C középhőmérséklettel, az éves hőingás körülbelül 22°C. Az átlagos szélsebesség a Dunántúli-középhegység védelme miatt mérsékelt, 2-3m/s. Évi csapadékmennyiség a város területén nagyjából az országos átlaggal megegyező 600 mm, legtöbb csapadék májusban és júniusban, a legkevesebb januárban és februárban hullik. Havas napok száma átlagosan 26.

A sűrűn beépített, főként pesti kerületek úgynevezett hősziget-jelleggel bírnak, belváros és külsőbb kerületek között akár több °C eltérés is lehet, ez a különbség hideg és meleg idő esetén is megmarad.

3.2. Budapest domborzati viszonyai:



1. ábra Budapest domborzata¹

¹ <http://citiesrevisited.files.wordpress.com/2013/02/domborzat-001.jpg>

A térképen jól látható, hogy a pesti oldalon jórészt síknak tekinthető területet találunk, jelentősebb kiemelkedés, mélyedés nincs. Ha a magassági adatokat megfigyeljük akkor a tengerszint feletti magasságok a Dunától kelet felé haladva emelkedést mutatnak. A lassú emelkedés oka a keletről nyugat irányába vándorló Duna meder hordalékanyagának köszönhető, mely kelet felé fokozatosan emelkedő teraszok formájában rakódott le. A Duna bal partján már jóval változatosabb topográfiai viszonyokkal találkozunk. Több jelentős kiemelkedést és sík területet is találunk. A triász mészkőből és dolomitból felépülő Budai-hegységhez tartozó Várhegy és a Gellért-hegy egészen a Duna-partig nyúlik, északabbra Óbudán a hegyek előterében viszonylag széles alacsony sík található. A Gellért-hegytől, és a Sas-hegytől délre ismét éles domborzati határral elkülönülő sík terület, Lágymányos és Kelenföld található.

3.3. Budapest és a Duna kapcsolata

Budapesten több vízfolyás található, ám ezek nagy része kisebb patak, a legjelentősebb, Budapest városszerkezetét kialakító folyó a Duna. Európa második leghosszabb folyama, 2850 km ebből 417-et Magyarországon tesz meg. Szélessége a Széchenyi Lánchídnál 350m, vízhozama $2350 \text{ m}^3/\text{s}$ normál vízállásnál. A város központjában falak, rakpartok közé szorítva halad melyeket magas vízállás mellett teljesen elönt. Legutóbb 2013-ban volt jelentősebb áradás a Dunán, ekkor Budapesten a legnagyobb vízszint elérte a 891 centimétert. Mivel a tervezett alagút körülbelül 50 méterre közelíti meg a Duna medret, a folyó és a műtárgy kapcsolatát a későbbiekben részletesebben vizsgálom.

4. Budapest közösségi közlekedése.

Magyarországon Budapest rendelkezik a legkiterjedtebb és legösszetettebb közösségi közlekedési hálózattal. Ebben a hálózatban a ma ismeretes közlekedési módok jó része megtalálható. Nevezetesen, autóbusz, trolibusz, villamos, metró, vasút elővárosi vasút, hajó. Ezek a közlekedési módok saját műszaki adottságuktól függően szolgálják a közlekedést. A közösségi közlekedés gerince, nagy utas kapacitása, és a zárt pálya nyújtotta előnyök miatt a metró. Ahol metróhálózat van kiépítve, így Budapesten is a közlekedés többi elemét mindig a metróhoz kell igazítani, térben és időben a megfelelő ráhordással biztosítják a metró kihasználtságát és gazdaságosságát. Budapest közlekedése folyamatosan változik, a rendszer mérete és kora miatt valamely eleme mindig felújításra, kibővítésre szorul.

4.1. Kötőtpályás közlekedési módok néhány eleme és azok jellemzése:

A metró a kötőtpályás városi közlekedési módok közé tartozik, ezek közös jellemzője, hogy a közúti járműforgalomtól valamilyen szinten elválasztott, vasúti pályán közlekednek. Ide tartozik még a városi gyorsvasút, gyorsvillamos, vasút, elővárosi vasút belső városi forgalommal és a közúti villamos

A közúti villamos forgalom a felszínen bonyolódik és jellemzően kis megállótávolságokkal van ellátva, a vasúti pályája nincs elkülönítve a közúti járműforgalom szintjétől, adott esetben egyes szakaszai gépjárműforgalom számára is igénybe vehetőek. Közúti villamos hatékonyságát a járműforgalommal szembeni elsőbbsége illetve a forgalmi torlódásoktól mentes sínpar biztosítja, de forgalmát a közúti forgalom nagymértékben képes zavarni. Például egy-egy forgalmas kereszteződésben kialakuló torlódás, nagy tömeg esetén lassú utas csere. Szállítóképessége általában 6-12000 fő/h. Utazási sebessége körülbelül 15 -20 km/h között alakul.

A vasút, városi gyorsvasút, gyorsvillamos és az elővárosi vasút nagyobb megállótávolságokkal vannak kialakítva, nagy tömegeket nagyobb távolságra szállítanak. Ez teszi lehetővé hogy teljesen elkülönített vasúti pályán közlekedjenek, melyek a forgalmas szakaszokon bevágásban, alagútban, vagy magas pályán kialakított külön szintű keresztezésekben közlekedjen. A vonatforgalmat helyenként vasúti jelző és biztosító berendezés biztosítja, ez segíti a menetrendek kiszámíthatóságát.

Szállítókapacitása közel kétszerese is lehet a közúti villamosénak, 6-20000fő/h. Ezeken a vonalak nagyjából 20 és 45 km/h sebességgel közlekedhetünk gyorsvasúti típustól függően. Budapesten nincs ilyen villamos.

Különleges kötőtpályás jármű a Fogaskerekű és a Budavári Sikló, melyek csupán a szintkülönbség leküzdésére kialakított speciális meghajtásban különböznek a vasúttól. Amely meghajtás a fogaskerekű esetében egy harmadik sín, fogasléc és a hozzá tartozó fogaskerék. A siklót a kocsikra erősített drótkötél húzza fel a meredek pályán, a Budavári Sikló energia hatékony úgynevezett ingajáratú kialakítású, ami azt jelenti hogy az ellentétes irányú kocsik közös kötélzettel rendelkeznek, és a lefele közlekedő kocsi húzza fel a felfelé közlekedőt. Ez a két különleges kötőtpályás közlekedés, a hagyományos közlekedési eszközökhöz képest igen csekély utasforgalmat bonyolít, szerepük elenyésző. Leginkább idegenforgalmi látványosságok.

A metró a legkülönlegesebb kialakítású városi gyorsvasút. Pályája teljesen zárt, általában alagútban vagy kiemelve vezetik. Ez a pálya szintbeli kereszteződésektől mentes nyomvonalon halad. Elektromos meghajtású motorkocsik végzik az utasszállítást. Üzemét automata biztosítóberendezés vezérli, így válik lehetővé a precíz menetrend és követési idő. Utazási sebessége 30-35km/h mely nagymértékben függ az adott vonal állomástávolságától és az alkalmazott beszállási időtől.

Egy metróvonal utas kapacitása a kocsi számtól és a követési időtől függően 20000-50000 fő/h, így ez a legnagyobb kapacitású városi közlekedési eszköz. Az utas kapacitásból adódóan azon a vonalon gazdaságos ahol az óránként várható utas szám, a vonal bármely szakaszán eléri az 5000-et, továbbá a legjobban terhelt részén a 8000-10000-et.

4.2. Közösségi közlekedés fejlesztése

Budapestnek hosszú és rövidtávon is fejlesztenie kell a közösségi közlekedési hálózatát. A közösségi közlekedés többszörösen energia hatékonyabb a magán gépjármű forgalomnál. Energiahatékonyasága mellett az 1 utasra jutó fajlagos útfelület szüksége is nagyságrenddel kisebb az autóénál. Tehát több utas kevesebb helyet foglal el. A napjainkban a belváros és számos jelentős csomópont is használhatatlan a csúcsidőszakokban. Ezért mindenképpen szükség van a több irányú fejlesztésre, melynek része az új elemek létrehozása, a már meglévők megbízhatóságának növelése és mindezek összehangolása. Az általam vizsgált alagútszakasz a közösségi közlekedés gerincét képező metró üzemét segítené.

4.3. Budapesti metróhálózat meglévő vonalai.

4.3.1. Milleneumi földalatti

Budapesten 1896. május 2-án nyílt meg a világ első elektromos motorkocsis felsővezetékes földalatti vasútja. A földalattit Magyarország ezeréves alapításának évfordulójára rendezett kiállítás megközelítésére építették. Az építés nagyon rövid ideig, 2 évig tartott. Az alagút dúcolt, nyitott munkagödrös megoldással épült. Az alagút oldalfala és talplemeze betonból, a földém pedig vasgerendák közé betonozott boltozatból készült. Érdekes az alagút rendkívül alacsony, 2,8 méteres belmagassága. Mivel gyakorlatilag egy kéregvasútról beszélünk az alagút tetejének szintje adott volt, viszont a mélységét a nagykörút alatt futó főgyűjtő csatorna szabta meg. Lehetett volna a csatorna alatt vezetni a földalattit, ám ez időbeni csúszást illetve költségnövekedést okozott volna. Az átadott vonal 3,1 kilométer hosszú volt, 1973-ban meghosszabbították 1,2 kilométerrel így már nem a Hősök tere hanem a Mexikói út lett a végállomás. A felújítás nem csak pálya meghosszabbításával járt, komoly kapacitásnövelő fejlesztések is történtek. Új, nagyobb befogadóképességű szerelvények érkeztek, korszerű járműtelep épült és modern biztosítóberendezést szereltek fel. A felújítás után a kapacitás irányonként körülbelül 5000 fő/óra emelkedett. Sajnos a vonal sajátosságai miatt további jelentős kapacitásnövekedés nem érhető el gazdaságosan. Ennek okai az alacsony pályauárszelvény, a belvárosi szakaszon alkalmazott kis sugarú ívek, és a rövid, átlagosan 370 méteres állomástávolságok. A Kisföldalatti, bár a mai utazási igényeket már nem tudja teljesen kiszolgálni, napjainkban is jelentős és ikonikus része a budapesti tömegközlekedésnek.

4.3.2. M2 metró, a kelet-nyugati vonal

1950-ben határoztak a vonal megépítéséről, mely a Déli pályaudvar és a Népstadion (a mai Puskás Ferenc Stadion) között létesült volna. Néhány éves munka után több nagy beruházással együtt a metróépítést is leállították, végül több éves szünet után 1963-ban folytatták az építést és az új terveken már az Örs vezér térig tartott a 2-es vonal. A vonal első, Örs vezér tértől a Deák térig tartó szakaszát 1970-ben nyitották meg. A Déli pályaudvarral való összekötésre további 2 évet kellett várni.

Az elkészült vonal teljes hossza 10,48 kilométer hosszú, ebből 7,45 kilométernyi 20-40 méter mélyen halad, 1,12 kilométer burkolat alatti kéregalagút, és 1,48 kilométer felszíni vezetésű. Az alagútfejtés többféle módszerrel történt. A legtöbb helyen Kuncz féle módszerrel dolgoztak a vājárok, a jövesztéshez használtak kéziszerszámokat, gépesített jövesztő illetve szállító-rakodó gépeket, márgás területen robbantottak is.

Deák Ferenc tér és a Széll Kálmán tér közötti szakaszon, erre a szakaszra esik a Duna alatti szakasz is, alagútfűró pajzsot használtak. A 2-es metróhoz kapcsolódik az öt alagutas, úgynevezett Budapest állomástípus alkalmazása. Az alagút a mély vezetésű részekben kör szelvény, ezek belső átmérője jellemzően 5,1 méter, de a korábban készült szakaszokon épültek 6,3 méteresek is. Az alagutak elválasztott rendszerűek, tehát a két irányban közlekedő szerelvények külön alagútban futnak. A párhuzamos alagutak tengelytávolsága 19 és 27 méter között változik. Ezek az alagutak 3 féle falazattal készültek. Egyik falazattípus az Öv. 200-as minőségű öntöttvas bordás tübbing. Ezek jellemzői: a magas széntartalom miatti viszonylag jó korrózió állóság, könnyű-gyors szerelhetőség ezáltal kevésbé állékony részekben alkalmazták. Az öntöttvas mellett betont használtak még, monolit vasbeton illetve előregyártott vasbeton elemek formájában. Előbbi az akkori szabvány szerinti B 300-as míg utóbbi B 400 minőségű vízzáró betonból készült.

4.3.2.1. Közlekedési kapcsolatok

Ez a metró számos új közvetlen közlekedési kapcsolatot hozott létre. Érinti Buda egyik legforgalmasabb közlekedési csomópontját a Széll Kálmán teret, de keresztül halad a nagy belvárosi csomópontokon is, ilyen a Baross tér, Blaha Lujza tér, Astoria, Deák tér. Érinti a Keleti és a Déli pályaudvart, de a Szentendrére és a Gödöllőre vezető helyi érdekű vasutat is. A Puskás Ferenc stadion megállónál még a távolsági busz hálózathoz is kapcsolódik. Az említett kiemelt jelentőségű közlekedési kapcsolatokon kívül, elmondható hogy mind a 11 megálló jelentős felszíni ráhordó forgalommal bír.

4.3.2.2. Felújítás

Hosszú üzemelés után 2004-ben kezdődött az állomások felújítása. A helyreállítás keretében 3 év alatt mind a 11 állomás megújult, a teljes szakaszon síncserét hajtottak végre és helyreállították a vízszigetelési, vízelvezetési problémákat is. Mivel a kettes metró naponta körülbelül félmillió utas számmal bír, és nélkülözhetetlen Budapest tömegközlekedésében ezért a munkálatokat az utasforgalom minimálisan szükséges legkisebb zavarása mellett végezték. Szakaszos lezárásokkal, éjszakai műszakokkal, csekélyebb forgalmú, nyári időszakokra időzített teljes leállásokkal próbálták enyhíteni az okozott kellemetlenségeket. A felújítás volumenét jelzi, hogy a több mint harminc éves orosz metró kocsikat, teljesen új, a mai követelményeket kielégítő modern szerelvényekre cserélték. A csere a felújítás után 2013-ban valósult meg. Ekkor állt a szolgálatba a vonalon az újonnan telepített biztosító

rendszer is, amely valós időben követi nyomon a szerelvények helyzetét és optimalizálja azok követési távolságát.

4.3.2.3. Távlati tervek

Mivel ez a vonal komoly szerepet vállal a fővárosi tömegközlekedésben, többféle fejlesztési koncepció is felmerült, a vonal kibővítésére. Ilyen például a Kelenföldi pályaudvarral való összekötés. Amit egy ideig a csekély többlet utasforgalom, és a költségek nagysága akadályozott. Ma már inkább a 4-es metró megléte teszi indokolatlanná.

Egy másik elképzelés szerint a Széll Kálmán térről kellene nyugati irányba kellene egy leágazást létesíteni, így a vonal kapna egy új végállomást a Budagyöngye bevásárló központ környékén. A szerelvények felváltva érkeznének a Déli pályaudvarra és az új állomásra. Ez a fejlesztés jelentős gépjárműforgalom csillapító hatással lenne az éppen átalakuló Széll Kálmán térre. Sajnos egy ilyen leágazás és az új végállomás hatalmas költség lenne így egyelőre ez is csak koncepció.

Több műszaki és gazdasági tanulmány készült egy egészen más jellegű bővítésre. Ezen tanulmányok témája az Örs vezér téren a metró és a HÉV összekapcsolása. Az összekapcsolás révén bizonyos HÉV szerelvények átszállás nélküli továbbutazást biztosítanak a Déli pályaudvar felé, majd amikor onnan visszaérkeznek újra bekapcsolódnának a HÉV hálózatba. Ám ehhez új, speciális HÉV szerelvények, és felújított vasúti pálya szükségesek, ha ezek megvannak, akkor még meg kell oldani a felszín alatti kapcsolatot. Hasonlóan a korábban említett bővítésekhez, az átszállás nélküli továbbutazásnak is hatalmas anyagi vonzatai vannak, így várhatóan jó ideig nem valósul meg.

4.3.3. Budapest második „igazi” metrója a hármas vagy „kék metró”

1970-ben kezdődött meg az építkezés, ekkor úgy tervezték hogy Kőbánya Kispesttől egészen Káposztásmegyerig közlekedik majd. Végül csak Újpest-Központig készült el több szakaszban. Az első szakaszt, Deák Ferenc tér-Nagyvárad tér, 1976 decemberében adták át. Ezt követően 1980. március 29-én a Nagyvárad tér és Kőbánya-Kispest, 81 decemberében a Deák tér Lehel tér, 84 november 5-én a Lehel tér-Árpád híd, majd végül 1990. december 14-én az Árpád híd-Újpest-Központ közötti szakasz készült el. Az utolsó szakasz átadását követően a politikai és gazdasági helyzetre hivatkozva leállították a metró beruházásokat. Így jelenleg és még jó néhány évig Újpest Központ a végállomás. Az elkészült vonal teljes hossza 17,4 kilométer, ebből 1,3 km a felszínen,

16,1 km pedig alagútban halad. Hús állomással rendelkezik, az átlagos állomástávolsága 860 méter. A vonalon 120 méter hosszú szerelvények közlekednek, a maximális utas kapacitása 28000 utas/óra/irány. Napi utas száma körülbelül 500 000-600 000 fő.

4.3.3.1. Talajviszonyok

Geotechnikailag a mélységtől függően két jellemző rétegben épült az alagút. A kéregvezetésű részek az Ős-Duna által ideszállított, pannon korú, pleisztocén, homokos kavics-kavicsrétegben helyezkedik el. Ez a réteg két méterrel a felszíni feltöltés alatt jelentkezik, és tíz-tizenöt méter vastagságú. Erre a rétegre jellemző, hogy a benne található talajvíz 4-5 méteren jelentkezik, és a talajvízállás kapcsolatba hozható a Duna vízállásával.

A mélyvezetésű szakasz a Duna hordalékréteg alatt található, oligocén korú, Kiscelli agyag felső részébe épült. Mivel ez a réteg gyakorlatilag vízzáró, talajvízzel nem kellett számolni az építőknek. Talajvíz helyett a homoklencsékben tárolt nyomás alatti rétegvizek jelentettek problémát.

4.3.3.2. Magassági vonalvezetés

A hossz szelvény magassági szempontból 3 fő részre osztható. Az első rész Kőbánya Kispest állomástól a Határút állomásig a felszínen halad, Határútnál kéregvezetésűvé válik egészen a Nagyvárad térig. A kéregvezetésű szakaszon a felszíntől 4-8 méterrel helyezkedik el. A Nagyvárad teret elhagyva sűrűn beépített terület alá érkezik ahol nem volt lehetőség nyitott módszerrel építkezni, és folyamatos lejtéssel mélyvezetésűvé válik az alagút. A mélyvezetésű szakasz mélysége 20-30 méter között változik. A Nyugati teret elhagyva folyamatos emelkedéssel éri el a Lehel teret ahonnan ismét kéreg jellegűvé válik, hasonlóan a korábbi felszín közeli szakaszhoz itt is 4-9 méter között változik a mélység.

4.3.3.3. Közlekedési kapcsolatok

Hasonlóan a kettes metróhoz ez a vonal is közvetlen átszállást biztosít az összes jelenlegi metróval. A négyessel a Kálvin téren, a többivel a Deák téren találkozik. Gyakorlatilag minden megállónál átszállást biztosít valamilyen fontos villamos vagy autóbusz járáttal. Vasúti átszállási lehetőségünk van Kispesten illetve a Nyugati téren. A vasút mellett a Népligetnél, az Árpád hídnál, és Újpest-Városkapunál távolsági autóbusz kapcsolattal is rendelkezik. A sokféle átszállási lehetőség és viszonylag hosszabb állomástávolságok teszik igazán jelentős és hatékony közösségi közlekedési elemmé.

4.3.3.4. Közeli és távlati fejlesztési tervek

Mivel ez a szakasz is elmúlt 30 éves és jelentősebb felújításon nem esett át, egyre égetőbb kérdése a városnak a hármas vonal üzembiztonsága. Gyakorlatilag minden eleme cserére, felújításra szorul. Ide érve az alagutat és annak vízszigetelését, a vágányokat és természetesen a metró kocsiakat. Jelenleg ezen elemek felújításának műszaki és gazdasági előkészítése zajlik. Léteznek a vonal meghosszabbításával kapcsolatos tervek is. A kezdetek óta szó volt a Káposztásmegyerig történő meghosszabbításról. Ezzel a kapcsolattal a öt évek jelentősen gyorsabban érnék el a város többi részét. Egy másik lehetséges szakasz hosszabbításról vagy inkább mellékszakasz kiépítéséről is születtek tervek. Ez a mellékszakasz a Határúti állomásnál ágazna ki és a Ferihegyi reptérre vezetne. A Határúti állomás ennek a mellékvonalnak a fogadására alkalmasan lett kiépítve. A vonal hosszabbítások egyelőre háttérbe szorulnak az aktuális felújítási munkák mellett.

4.3.4. M4 metró.

Budapest legújabb, 2014-ben átadott metrója a Kelenföldi pályaudvart a Keleti pályaudvarral összekötő 4-es metró. A jelenlegi 7,3 kilométeres szakasz képezi a vonal első ütemét. Az építkezés 2006 januárjában kezdődött és 2014 márciusában utazhattak utasok rajta. Maga az alagútépítés körülbelül 3 évig tartott. A nyomvonal Kelenföld vasútállomáson indul a budai oldalon többek között érinti a Móricz Zsigmond körtére és a Gellért teret. A folytatásban áthalad a Duna alatt, ahol a Fővám tér állomás következik. Ezután következő megállók sorban, a Kálvin tér, Rákóczi tér, Népszínház utca és végül a Baross tér.

4.3.4.1. Építés

Az alagutak aktív homlokmeztámasztásos pajzsos technológiával épültek. A két párhuzamos alagút egyező ütemben bár időben kicsit eltolva készültek a felszíni süllyedések minimalizálása érdekében. Az alagútfalazat vasbeton tübbing elemekből állt össze. Ezen elemek pontos illesztése és speciális kialakítása biztosítja a vízzáróságot is. A pajzsok Kelenföldi pályaudvar irányából kezdték meg a fúrást. Magasságilag végig mélyvezetésűek az alagutak, erre a felszín minél kisebb zavarása és a süllyedések miatt volt szükség. Az alagutak érdekessége, hogy áthaladnak a Duna alatt. A folyó alatti fúrás fokozott részletességű feltárást igényelt ugyanis sok jelentős hőforrás található a folyómeder alatt, és ezek megóvása elsőleges fontosságú volt. Érdekesség, hogy a meder alatti áthaladás biztonságosabbá tétele érdekében fagyasztásos ideiglenes talajerősítést alkalmaztak.

4.3.4.2. Közlekedési kapcsolatok

A vonalról 2 vasúti átszállási lehetőségünk van, a Kálvin téren pedig a hármas metróra szállhatunk át. Természetesen több jelentős közlekedési csomóponton is áthaladnak az alagutak. Ezek közül a legfontosabbak talán a Móricz Zsigmond körtér és a Szent Gellért tér.

4.3.4.3. További tervek

Mint korábban olvasható a jelenlegi 4-es metró csak egy része a teljes tervezett vonalnak. A továbbiakban 3 lehetőség nyílik a hosszabbításra. Az egyik a Keleti pályaudvartól a Bosnyák tér felé majd onnan Rákospalotára tovább haladó fejlesztési koncepció. Ez a megoldás jelentős horizontális utasforgalmat vállalna át az ez irányú felszíni forgalomtól. Ezáltal jelentősen mérséklődhetne a Pest-Buda Járműforgalom. A másik két koncepció a budai oldalon adódik. Ezek közül az egyik terv szerint a jelenlegi végállomástól tovább építenék az alagutat gazdagrét irányába. A másik lehetőség szerint Újbuda-Központ állomás környékén létesülne egy kiágazás déli irányba egészen Budafok-központig. Ezek a továbbfejlesztési lehetőségek napjainkban csak távlati tervként léteznek.

5. Alagútépítés történeti áttekintése

Bár az alagút bonyolult, összetett mérnöki létesítmény, nem a modern kor vívmánya. A legrégebben számon tartott, közlekedési célt szolgáló alagút kr. e. 2600-as évekre tehető. Ez az alagút Babilon, a mai Irak területén található. Az alagúton keresztül a királyi palotából lehetett kijutni. Mivel az alagút az Eufrátesz alatt haladt, ezért az építés idejére a folyót elterelték, majd nyílt árkos kiemeléssel építkeztek. Falazat anyaga téglá, bitumenes habarcsba ágyazva. A bitumenes habarcs a vízszigetelést hivatott szolgálni. A főte boltozatos, boltöves kialakítással szintén téglából készült. Hossza 900-1000 méter körül lehetett. Gyalogos alagút létre tekintélyes belső méretekkel rendelkezett, magassága 3,5 szélessége 4 méter volt. Az alagút elhelyezése, tehát hogy egy folyó alatt vezetett, és a vízszigetelés megoldása arra utal hogy, gyakorlott alagútépítők építették és már jóval korábban is készültek alagutak.

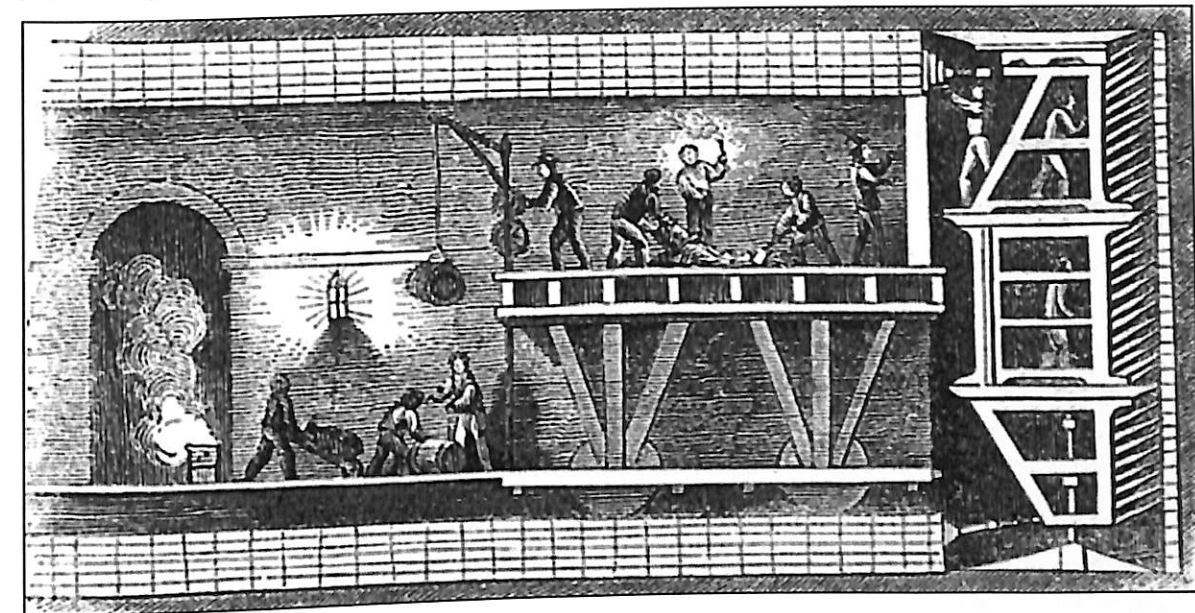
Az ókorból számos, kisebb nagyobb felújítás során üzemben tartott alagút maradt meg. Ilyen például a körülbelül 2700 éves Ezékiel alagút, mely ma is vizet szállít egy forrásból Jeruzsálembe. Vízz szállító alagutakat szép számmal építettek a római és az athéni birodalom területén is. A római birodalomhoz illetve Augustus császár nevéhez fűződik egy, a közúti alagutak őseinek tekintett 900 méter hosszú és 7,5 méter széles, domb alatt átvezetett alagút.

Az ókori birodalmak bukásával és a középkor beköszöntével a műszaki, technikai fejlődés visszaesett. A visszaesés következtében az alagútépítés korai technológiai szinten ragadt. Ami azt jelenti, hogy a mélyépítési munkák a bányászatra és a pincékre szorítkozott, nagyszabású közlekedési, szállítási célú földalatti létesítmények nem készültek.

Az első hajózható csatornaalagút a franciaországi 157 méter hosszú Malpas alagút 1679-ben készült el. Mivel ekkortájt a csatornák nagytömegű áruszállítást tettek lehetővé, a Malpas alagutat követően számos csatornaalagút készült, melyek eddig elzárt területeket vontak be a vízi közlekedésbe. Ezeken a csatornákon számos helyen lóvontatású hajók közlekedtek, így egy hosszabb alagútban külön sávot alakítottak ki az állatok számára.

Fontos előrelépést hozott az alagútépítésben Francois Andréssoy francia mérnök, aki a 1666-ban elsőként robbanóanyagot alkalmazott kőzet, illetve talaj fejtésre. A robbanóanyag használata abban az időben még veszélyesebb volt mint napjainkban, de nagyban megkönnyítette a kőzet kitermelését.

1821-ben Franciaországban elkészült az első vasúti alagút, ebben az alagútban először lóvontatású kocsik közlekedtek, az ipari forradalom előretörésével a gőzmozdonyok váltották fel az állatokat. Az alagútépítés egyik legnagyobb újtója, a kor jelentős kultúrmérnöke Sir Marc Isambard Brunel volt. Nevéhez fűződik a Temze alatti alagút. Melynek érdekessége, hogy a kor mérnökei lehetetlennek tartották a megépítését. A nehézséget a kavicsos, homokos, teljesen átázott talaj okozta. Az alagút boltozata néhol 4 méterre megközelítette a folyómedret. Brunel újítása az alagútépítő pajzs kifejlesztése volt, amelynek metszete a következő képen látható.



2. ábra Brunel pajzsa a Temze alatt²

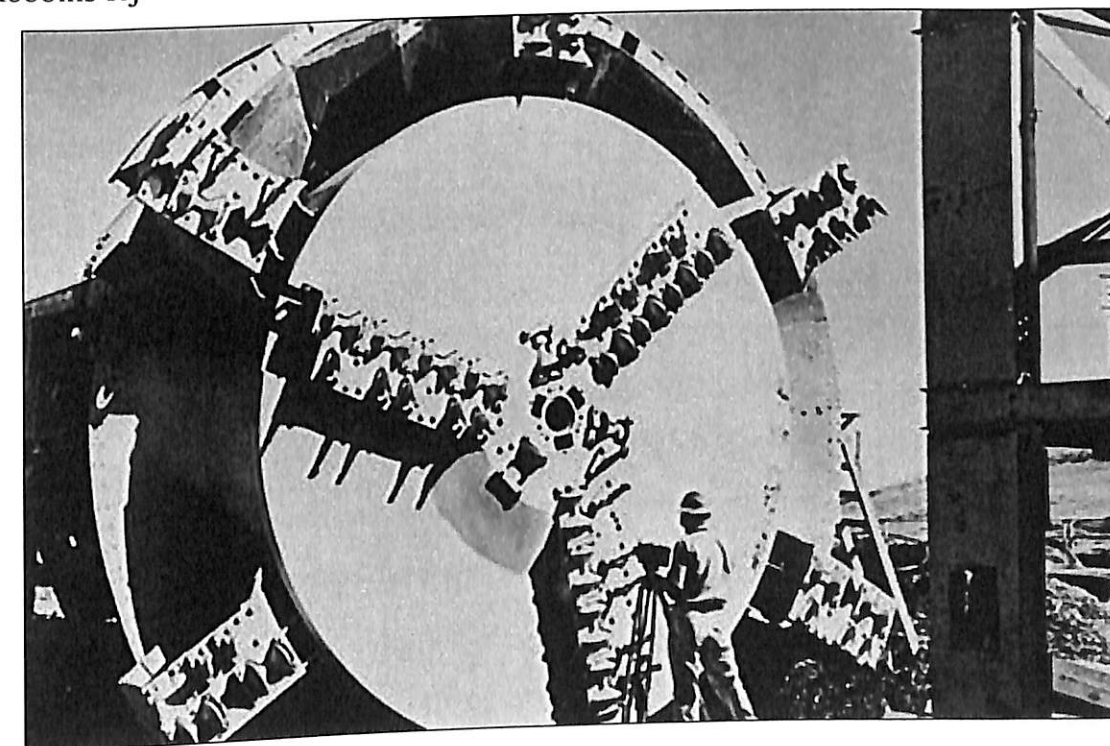
A pajzs biztosította az alagút feletti talaj állékonyságát, és a fejtési homlok beomlásától is megvédte a munkásokat. A pajzsos építéssel tégláról téglára haladtak előre. A pajzs mindamellett, hogy védte az építőmunkásokat, számukra állványzatként is szolgált, így egyszerre tudtak fejteni a homlok teljes felületén. Az újítás ellenére a munkakörülmények igen embert próbálóak voltak, gyakoriak voltak a vízbetörések és az omlások, többen életüket veszítették. Az építés kisebb nagyobb szünetekkel tarkítva 18 évig tartott, így 1843-ben készült el. Eredetileg gyalogos alagútnak készült, de 1869-ben a londoni földalatti vasút része lett, és azóta is nap mint nap szerelvények közlekednek keresztül rajta.

Az alagútépítés és a városi személyszállítás kiemelkedő napja 1863. január 10., amikor Londonban megnyitották a Paddington és Farrington között az első földalatti vasútvonalat. Az itt alkalmazott szerelvényeket még természetesen gőz hajtotta

² <https://riversonghousewright.files.wordpress.com/2014/09/brunel-tunnel-shield.jpg>

mozdonyok húzták, ami rendkívül nagy füsttel és zajjal járt egy zárt alagútban. A földalatti világszerte elterjedt neve az üzemeltető vasúttársaság nevéből, a Metropolitan Railway-ből alakult ki. A londoni metró mintájára a világvárosokban sorra nyíltak a földalatti vasutak.

Az évek során sokat fejlődött az alagútépítés, egyre megbízhatóbb megtámasztó berendezéseket, egyre nagyobb kapacitású jövesztő gépeket alkalmaztak az építők, ám a következő nagy fejlődésre 1952-ig kellett várni. Egy amerikai bányamérnök, James S. Robbins sikeres alagútfúrást hajtott végre az általa tervezett TBM-el. Előtte hosszú időn át sokan próbálkoztak hasonló berendezéssel, folyamatos munkavégzésre képtelenek voltak, így Robbins fűrőpajzsát tekintjük az első modern alagútfűrő berendezésnek. Robbins vállalat nevéhez fűződik számos jelentős későbbi TMB eredmény. Ilyen például a kemény kőzetben való fúrás, levegő túlnyomásos (EPB) és az iszapos homlokmegtámasztás, de az első „double shield” az úgynevezett dupla pajzs is a Robbins fejlesztés.



3. Robbins pajzs³

³ <http://www.nodig-construction.com/News/Robbins-celebrates-60-Years-of-World-Class-Tunneling-41.html>

6. Alagútépítési módszerek

Többféle alagútépítési módszer létezik, ezek közül mindig a számunkra legalkalmasabbat kell alkalmazni, a geotechnikai adottságok, az alagút funkciója, a külső körülmények, gazdaságossági szempontok illetve egyéb feltételek mérlegelésével. A zárt alagútépítési módszerek a felszín alatti bányászatból fejlődtek ki. Bányászat esetében a nyersanyag kutatás és annak kinyerése a cél, de eközben biztosítani kell a már kitermelt nyersanyag, vagy a nyersanyagot tartalmazó kőzet helyén keletkezett üres teret körülvevő kőzet állékonyságát. Ezt különféle fa és fém szerkezetekkel oldották meg.

A Bányászattal ellentétben az alagútépítésnél nem nyersanyagot keresünk, hanem a kifejtett kőzet helyén maradó üres teret szeretnénk hasznosítani. Alagutakat elsősorban közlekedési céllal szoktunk építeni de sok más céllal is épülhet egy alagút. Ilyen cél lehet például a folyamszabályozás vagy víztovábbítás, óvóhely, közműelhelyezés, tárolás, hulladéklerakó. Funkciótól függően az alagutak változatos hosszban, átmérőben és keresztmetszetben épülhetnek. Keresztmetszetüket és átmérőjüket nagyban meghatározza az építési módszer.

6.1. Hagyományos építési módszerek

Hagyományos építési módnak nevezhetjük azokat a metódusokat ahol az építést nem alagútfúró pajzs (TBM) segítségével fúrjuk hanem valamilyen bányászati módszert alkalmazunk. Az alagútfúró pajzs teljes homlokfelületen végzi a talaj vagy kőzet fejtését és az alátámasztást is biztosítja, ezzel ellentétben a hagyományos módszereknél a fejtés nem egy időben történik a teljes homlokfelületen, hanem egyszerre annak csak egy részét fejtjük. Hagyományos alagútépítési módszerekbe nem tartozik bele a nyitott építési módszer.

6.1.1. Hagyományos alagútépítés elemei

Fejtéshez alkalmazhatunk robbanóanyagot, kotrógépet különféle szerszámzatokkal, speciális kőzetmarót úgynevezett jövesztőgépet. Ezek paramétereit a talajviszonyok és az alagút méretei határozzák meg.

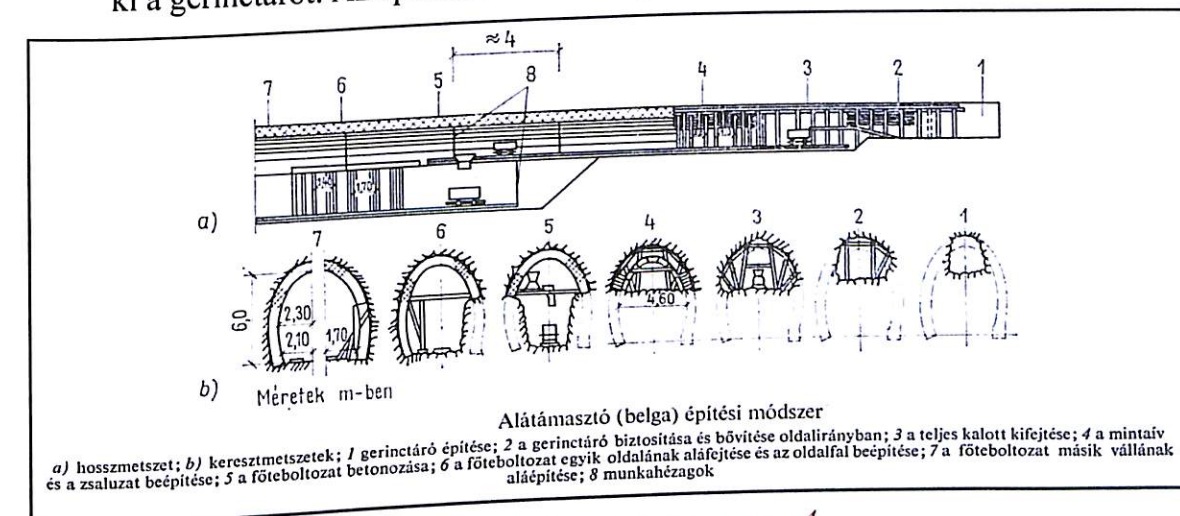
Következő lépésben gondoskodni kell a fellazított talaj elszállításáról erre a célra használhatunk vasutat, gumikerekes szállítójárművet, szállítószalagot és ezek kombinációit. Mivel nagy tömegű jövesztett anyagról van szó ezért, a kitermelt

anyagánál törekedni kell annak későbbi hasznosíthatóságára. Ilyen hasznosítás lehet a beton adalékanyag vagy töltésanyag felhasználás.

Kitermelt talaj helyén biztosítani kell az alagút állékonyságát, erre szolgál az elsődleges megtámasztás, ez történhet közhorgonyokkal vagy valamilyen alátámasztó szerkezet beépítésével. Megtámasztó szerkezet lehet ácsolt faszerkezet, acél vagy öntöttvas gerenda, íves tartó. Az elsődleges megtámasztás feladata a munkatérben dolgozó emberek és munkagépek védelme a lehulló kőzetektől és az alagút állékonyságának megőrzése a végleges falazat kialakításáig.

6.1.2. Belga módszer

Az építés az alagút tengelyirányába épített gerinctárhoz létesítésével indul. Ennek a tárnak a kiszélesítésével és folyamatos alátámasztásával készül a felső boltozat vagy süveg-szelvény. A szaknyelvben ezt úgy nevezik, hogy kilegyezik a kalottot. Ezt a süveg-szelvényt addig szélesítik és mélyítik míg el nem éri a boltozat vállát. A kívánt süveg-szelvény kialakítása után következik a mintaívek és a zsaluzat elkészítése. A boltvállakról indulva alulról felfelé készül a falazat. Nagyobb alagútszelvényeknél a gerinctárhoz építését megelőzi egy talptárhoz építése, ebből aknaszerű feltörésekkel alakítják ki a gerinctárat. Az építés során ez a talptárhoz anyagszállításra használható.



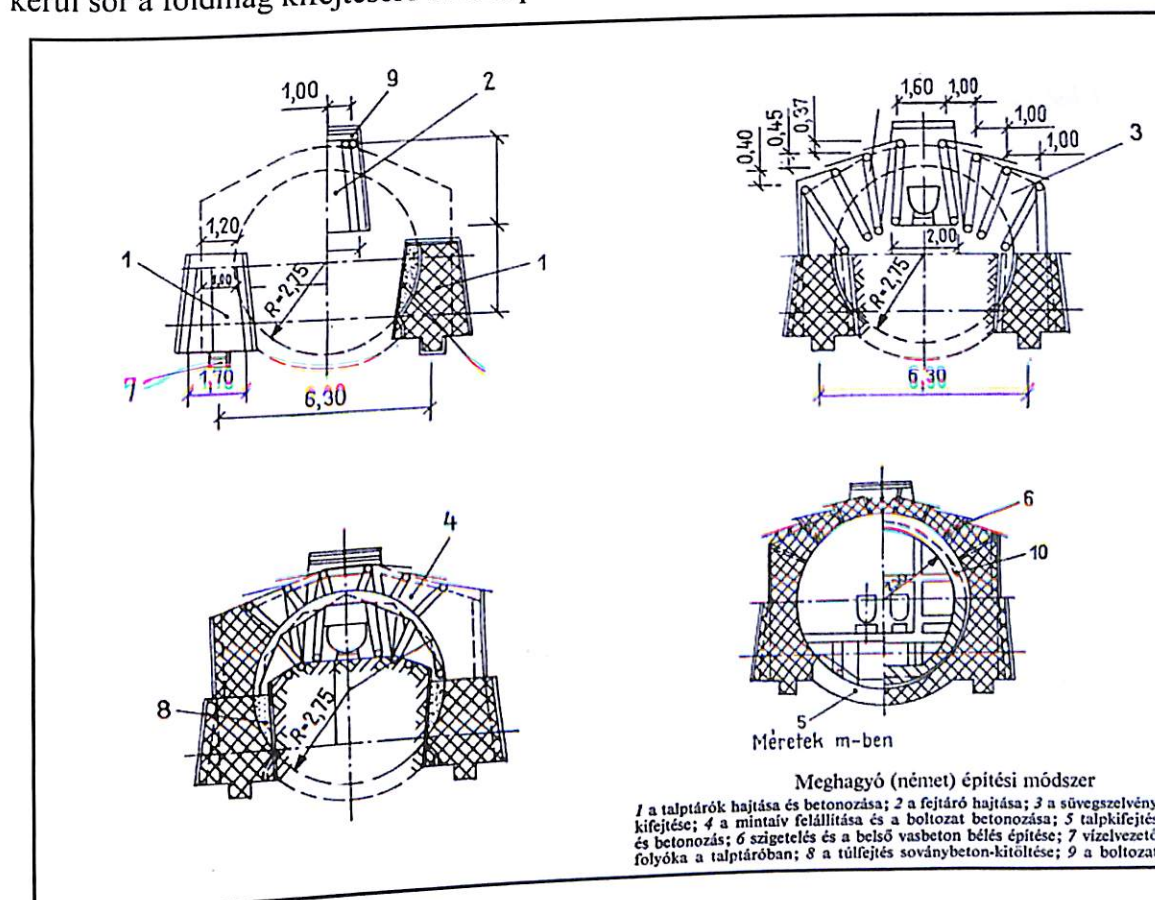
4. ábra Belga építési módszer⁴

A süveg-szelvény falazat teherbírásának kialakulása után kezdődhet a szelvény lemélyítése az úgynevezett magfejtés. Ez úgy történik, hogy a kőzet vagy talaj állékonyságától függően kisebb nagyobb hosszokon szakaszosan aláfalazzák a felső boltozatot. Lazább, kis teherbírású talajok esetén az egymással szemközti aláfalazásokat hosszirányban eltolva készítik.

⁴ Metró kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó 1982, 191. old., 3-41 ábra

6.1.3. Német vagy maghagyó építési módszer

A német módszer általában nagyobb keresztmetszvényű alagutaknál, illetve földalatti terek kialakításánál alkalmazható eredményesen. A fejtés kétoldali válltárhoz létesítésével kezdődik. A válltárak lefelé bővítése után elkészül az oldalfalazat, ami lehet beton vagy falazott szerkezet. Oldalfalak elkészülte után következik a gerinctárhoz majd a kalott kiszélesítése és a felső boltozat megépítése. A sűvegszlvény állványzata a felső ív elkészültéig a két oldalfal között meghagyott földmagra támaszkodik. A meghagyott földmag biztosítja az oldalfalak stabilitását és csökkenti a megtámasztó dúc szerkezetének bonyolultságát, anyag és munkaigényét is. A felső ív elkészülte után kerül sor a földmag kifejtésére és a talpboltozat elkészítésére.



5. ábra Német építési módszer⁵

6.1.4. Új osztrák alagútépítési módszer.

Ezt a módszert Ausztriában fejlesztették ki az 1960-as években, ahol szilárd állékony kőzetekben alkalmazták nagy hatékonysággal. Szakirodalomban különböző elnevezéseivel is találkozhatunk mint például NATM (New Austrian Tunneling Method), NÖT (Neue Österreichische Tunnelbaumethode) vagy SEM (Sequential Excavation Method). Ez utóbbi folyamatos fejtési eljárást jelent, ami már utal az újítás

⁵ Metró Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1982, 192. oldal, 3-42 ábra

jellegére. Fejtését tekintve ez is a hagyományos alagútépítési módszerek közé tartozik hiszen nem fűrőpajzsos alagútépítő gép végzi a munkát. Viszont az alkalmazott technikát tekintve egy modern eljárás.

E módszer lényege, hogy az alagútra nehezedő közetnyomás viselésébe bevonja az alagutat körülvevő kőzetet. A kőzet által fel nem vett erőket pedig egy vékony, körülbelül 20 cm-es hajlékony, lött beton falazattal támasztják meg. Nagy hangsúlyt kell fektetni a falazat és a kőzet teherviselésének arányára. Mert ha a környező kőzet túlterhelődik akkor a későbbiekben nem tud részt venni a kőzetnyomás felvételében. A módszer előnye, hogy a szelvényben nem található dúcolat vagy közbenső megtámasztó szerkezet. Az így fennmaradó helyen teret kapnak a nagyobb teljesítményű munkagépek és csökken az emberi munka szükséglet, gyorsul az építkezés. alkalmazására. Fontos megjegyezni, a lött beton falazat felhordásához vízbeszivárgás mentes felületre van szükség, ezért ennek biztosítása kulcsfontosságú.

A talajadottságoktól függően a homlokfejtés történhet 1 ütemben vagy több kisebb lépcsőben is. Leggyakrabban alkalmazott építési mód a két ütemben történő fejtés, rámpás munkatér kialakítással. A szelvényt 2 ütemben fejtik, a felső résszel kezdik majd mikor 10-20 métert előrehaladtak akkor kezdik fejteni az alagút alsó részét. Így a homlokfelület egy része mindig meg van támasztva. A két munkaszint között rámpás feljártot létesítenek így a munkagépek szabadon közlekedhetnek a fejtési területek között. Ameddig a kifejtett süveg-szelvényben a falazat kialakítást végzik addig a fejtő munkagépek a talp közeli részeket fejtik. Ezáltal optimalizálható a munkavégzés ritmusa és a szükséges gépek kihasználtsága. A fejtési munka mindenesetben a már elkészült falazat védelme alól történik. Fejtésre mindig a talajadottságokhoz megfelelő jövesztőgépet kell használni.

A módszert eredetileg csak nagy szilárdságú kőzetekben alkalmazták, mára már lehetőség nyílik iszap és agyagtalajokban való alkalmazására is. Az ilyen talajokban szükséges lehet különböző segédtechnológiák alkalmazása is. Ez az erősítés lehet csőernyő vagy tűzőpalló illetve alkalmazhatunk olyan eljárást is ahol a talaj fizikai paramétereit változtatjuk meg, például jet grouting eljárás.

Az eljárás egyik legfontosabb eleme a lövellt beton. A lövellt beton és a minél hamarabbi szilárdulás különleges követelményeket támasztanak a betonösszetétellel szemben. Fontos hogy a falazat a lehető leggyorsabban teherbíróvá váljon ezért kötőgyorsító szereket kell alkalmazni. A lövellt beton egy speciális betonpumpával és szórófejjel nagy nyomáson juttatják a kőzetre. A nagy nyomásnak köszönhetően a

felületen megtapadt beton igen nagy tömörségű. A beton adalékanyag szemcseméretét több tényező is befolyásolja. Ilyen például a csővezetékes szállítás, alkalmazott vasalás vastávolsága is. A felületre kilőtt beton egy része visszahullik ezért többlet anyagszükséglettel kell számolni. A visszahullott anyag a teljes betonmennyiség 20-25%-át teszi ki. A tapasztalatok szerint ennek a mennyiségnek jelentős része a nagyobb szemcseméretű kavicsokból tevődik össze. Ebből következik, hogy a nagyobb méretű kavics előnytelenek mert vissza hullik, ezáltal bedolgozott betonunk cementpép tartalma százalékosan növekedni fog a bedolgozatlanhoz képest. A visszahullott anyag mennyisége többek között függ a pisztolyt kezelő személyzet hozzáértésétől, a keverék pontos beállításától, és a felület minőségétől

A beton nedves illetve száraz eljárással kerülhet a felületre. A két eljárás alapvetően abban különbözik, hogy ameddig az előbbinél a beton összes alkotóeleme egy közös vezetéken érkezik a szórófejbe addig a száraz eljárás esetében a száraz betonkeverék csak a szórópisztolyban találkozik a vízzel.

Nedves eljárás előnyei: egyenletesebb betonminőség, kevesebb porképződés és kevesebb visszahulló anyag. A száraz eljárásnak egyetlen előnye van a nedvessel szemben, ami miatt szélesebb körben alkalmazzák, mégpedig hogy a szállítóvezetékben nem tud megindulni a kötés mert nem érintkezik vízzel. Ezért nincs szükség gyakori csőtisztításra és így jobban alkalmazkodik az alagútépítés szakaszos betonszükségletéhez.

Az új osztrák módszer szerint a kifejtett állékony üregben közetcsavarokat helyeznek el. Ezekre a csavarokra kerül fel a falazat vasalása az acél háló. A háló a lehulló kődaraboktól védi a munkateret. A külső oldali vasalást egy az alagút keresztmetszélyéhez illeszkedő, előregyártott acél mintaív követi. A mintaívre kerül fel a második acél háló, így a két acélháló közötti szükséges távolságot a mintaív biztosítja. A hagyományos löttbetonos alagútfalazat három rétegből tevődik össze. A külső réteg a már említett elsődleges megtámasztás, ez tartalmazza a vasalást is. Erre a betonra kerül fel egy szigetelő réteg majd egy újabb löttbeton réteg következik. A belső löttbeton felel a belső esztétikáért és a szerkezet tűzzel szemben támasztott követelményeiért.

6.2. Pajzsos alagútépítés

A pajzsos módszer az alagútépítés leginkább összetettebb gépesített változata. Az alagútépítés összes folyamatát egyetlen gép végzi. Ez a fűrőgép fejt a talajt, biztosítja a homlok és fötemegtámasztást, és elkészíti a falazatot is.

6.2.1. TBM (Tunnel Boring Machine) főbb alkotórészei.

Az alagútfúró berendezések egyik fő eleme a marótárcsa. A marótárcsa kör keresztmetszetű és általában egy kicsit nagyobb átmérőjű mint a falazat. Ez a nagyobb méret néhány centiméteres űrt eredményez a fal és a talaj között így ez injektálásra kerül. A marótárcsa mindig az adott talajhoz legmegfelelőbb kialakítású.

A tárcsától hátrafelé haladva következik az alagútfúró törzse. A törzs egy acél henger, ez a henger védi berendezés többi részé a lehulló talajtól és a betörő víztől. Itt található a marótárcsa meghajtó rendszere amely elektromos vagy hidroeletromos. A törzsben körben hidraulikus sajtók helyezkednek ez, ezek a sajtók fejtik ki a kellő nyomást a marótárcsa működéséhez, és ezekkel lehet szabályozni gép haladási irányát. Illetve ezen sajtók segítségével halad előre a talajban a TBM. A törzs védelme készül az alagút falazata is. Amely lehet löttbetonos vagy előre gyártott vasbeton tübbinges is.

A vasbeton tübbingek nagy pontossággal előre gyártott íves alagútfalazat elemek. Ezen elemek vízzáróak és a széleiken körbefutó vízszigetelést is tartalmaznak. Az elemeket a gyártáshoz hasonlóan nagy pontossággal számítógép vezérelt hidraulikus karok helyezik el.

A törzs külső felén található a faroklemez. A faroklemez nekifeszül a talajnak és így biztosítja a munkateret a vízbetöréssel szemben.

A fúrógép gondoskodik a kitermelt talaj továbbításáról is. A szállítás történhet szállítószalagon vagy hidromechanizációs eljárással csővezetéken keresztül. Mivel ezek a gépek igen összetettek és komoly logisztikai feladatot jelent a szállításuk, kiszolgáltatásuk, csak egy bizonyos alagúthossz felett gazdaságosak. Ez a hossz a külső tényezők függvényében 0,5-1,5 kilométer.

6.2.2. Fúrópajzsok néhány főbb típusa röviden

6.2.2.1. Gripper TBM

Ez a pajzs speciálisan kemény kőzetekben alkalmazható. Ez a gép az alagútépítés során elvégzi a kőzetcsavarok vagy horgonyok elhelyezését és a löttbeton falazatot is. Itt nincs tübbinges falazat amire támaszkodva előre haladna a gép, ezért kitámaszkodó tappancsokat feszít a sziklafalnak és így biztosítja a szükséges előtolást.

6.2.2.2. Egy pajzsos (Single Shield)

Közepesen kemény állékony kőzeteken használatos fúrópajzs. Nem rendelkezik aktív homlokmeztámasztással a fejtési homlok és a munkatér nincs elkülönítve egymástól. A tárcsa által fejtett kőzet a munkatérben lévő szállítószalagra hullik.

Előrehaladáshoz a falazatra támaszkodik így a falazat beépítése közben előrehaladni nem képes.

6.2.2.3. Dupla pajzs (Double Shield)

Fejtési módszere megegyezik az egy pajzsos berendezéssel. Ez a pajzs hidraulikus sajtók segítségével tolja magát előre. A nekifeszítést követően a falazatra támaszkodó sajtókat oldja és így lehetővé az egy időben történő fúrást és tübbing elhelyezést.

6.2.2.4. Mixshield vagy Hidropajzs

A mixshield pajzs felépítését tekintve abban különbözik az egy pajzsos technológiától, hogy a fejtési homlok el van választva a munkatértől. A fejtőpajzs mögött egy zárt kamra található, ide kerül be kifejtett talaj és víz keveréke, majd innen egy zúzógépen történő áthaladás után hidromechanizációs úton szivattyúk szállítják el. Előrehaladását tekintve megegyezik a Single Shield megoldással. Speciális kialakítása révén heterogén nagy vízáteresztő képességű talajoknál, és nagy víznyomásnál előnyös az alkalmazása.

6.2.2.5. EPB (Earth Pressure Balance) Földnyomás megtámasztásos pajzs

Puha kohéziós talajokra kifejlesztett pajzs. Hasonlóan a hidropajzshoz a pajzskamra el van választva a munkatértől viszont itt nem túlnyomást alkalmaznak a homlok megtámasztására, hanem a lejövesztett talajt bentonitos szuszpenzióval keverik el és ez adja a megtámasztást. A zagyot folyamatosan tisztítják és regenerálják, így kerül ki a pajzskamrából a talaj. Fúrás közben a bentonitos szuszpenzió sűrűsége a homloknyomás függvényében változtatható. Ezzel a megtámasztásos technológiával jelentősen csökkenthető a felszíni süllyedés puha talajokban.

7. Üzemi összekötő alagút nyomvonala

Az alagút M2 és M4 vonalat kapcsolná össze. Funkcióját tekintve üzemi alagút. Üzemi alagút révén kizárólag az üzemeltetéssel kapcsolatos feladatokat látná el. Az alagút vasúti alagút normál nyomtávú 1435mm széles koronátávolságú sínpár befogadására alkalmas. Az megépítés lehetősége már a hetvenes években felmerült, ám a négyes vonal nem valósult meg időben, így erre az alagútra sem volt szükség. Mára megépült és működik a 4-es vonal első szakasza így újra aktuális lehet a két vonal közötti kapcsolat kialakítása.

7.1. Korábbi tervek

E két állomás közötti alagútról korábbi tervek mindössze egy nyomvonal és erre a nyomvonalra vetített előzetes süllyedés prognózis. A süllyedés előrejelzés szintvonalas térkép formában szerepel, számításokat vagy a számításokra utaló feljegyzések nem tartoznak hozzá. A tervezett keresztmetszet illetve az építési technológia nem állt rendelkezésre. Ezek valószínűleg a megvalósítás elvetése és a tervezési munka leállítása miatt nem készültek el.

7.2. Kiindulási adatok

Tervezés során rendelkezésemre állt az Országos Földtani Kutató És Fúró Vállalat által, az alagútszakasz feltételezett nyomvonala mentén elvégzett földtani vizsgálatok egy részét tartalmazó dokumentum. Amelyet az UVATERV megbízásából készített. A dokumentumban megtalálhatók a fúrásszelvények, geofizikai mérések, összedolgozott földtani szelvény, helyszínrajz egy lehetséges nyomvonal, szöveges értékelés a talajviszonyokra vonatkozóan. Laborvizsgálati eredményeket, és talajfizikai paramétereket nem tartalmazott a dokumentum.

7.3. Nyomvonal helyszínrajzi kialakítása.

A nyomvonal kiválasztásakor három lehetséges nyomvonalat vizsgáltam. A nyomvonalak megtekinthetőek az átnézeti helyszínrajzon. A nyomvonalakat mint lehetséges irányt vizsgáltam. A kettes számú nyomvonal nagyobb íveket használ de túlságosan megközelítené a Duna medrét és ez kockázatokat hordoz magában, ezért nem előnyös az alkalmazása. A hármas nyomvonal áthaladna az Észak-Déli metróvonal alagútja alatt ami egy jobb becsatlakozást biztosítana a négyes vonal alagútjába, de az a

már meglévő alagút állapotára tekintettel ezt a megoldást sem tartom előnyösnek. Végül az egyes számú nyomvonal lett kiválasztva. Nyomvonalváltozatok a D-1 rajzon láthatók. Az általam felvázolt nyomvonal a metróépítésben alkalmazott kritériumhoz igazodnak. Mivel a dolgozat témája nem a nyomvonal kialakításának részleteivel foglalkozik, ezért csak a minimális íveket és lejtéseket vettem figyelembe. íveket. A dolgozatom során az üzemi alagút falazatának tervezése volt a meghatározott feladat, ezért az alagút és a meglévő műtárgyak csatlakozásával nem foglalkoztam. Továbbá a vasútvonalak átmeneti íveit sem határoztam meg. Az alagút geotechnikai szempontból történő elhelyezésére az átmeneti ívek gyakorlatilag nincsenek befolyással.

7.3.1. Választott nyomvonal

Az alagút a Deák téren válik ki a Kelt-Nyugati metróvonal déli alagútjából. A csatlakozó trombita műtárgy ezen az állomáson elkészült, vasúti sínt azonban nem tartalmaz. A kiválás egy körülbelül 440 méter sugarú ívben készült el. A kiválás után egy rövid, 95,65 méter hosszú 300 méter sugarú ívvel fordul kissé keleti irányba. Ívet egy 127,07 méteres egyenes szakasz követi. majd egy 300 méter sugarú 79,37 méter ívhosszú ívvel fordul rá egy 508,77 méter hosszú egyenesre. Az egyenes után egy 538,39 méter hosszú 250 méter sugarú ívvel éri el a Kálvin tér közelében a Négyes metró északi alagútját a 46+65,428 szelvényben. A teljes alagúthossz 1349,23 méter. Ezen hossz alatt már teljesen becsatlakozik a Négyes metró nyomvonalába. Nyomvonal a D-2 rajzon található.

7.4. Magassági vonalvezetés.

Deák téri kiágazás közelítő sínkorona szintje 58,30 mBF, míg a Kálvin téren 77,904 mBF sínkorona szinten kezdődik a 4 es metróval közös alagútszakasz. A két sínkorona között 19,604 méter szintkülönbség van. Az alagút teljes hosszán egyenletes 1,45 %-os szinteséssel számoltam.

7.5. Felszín beépítettsége

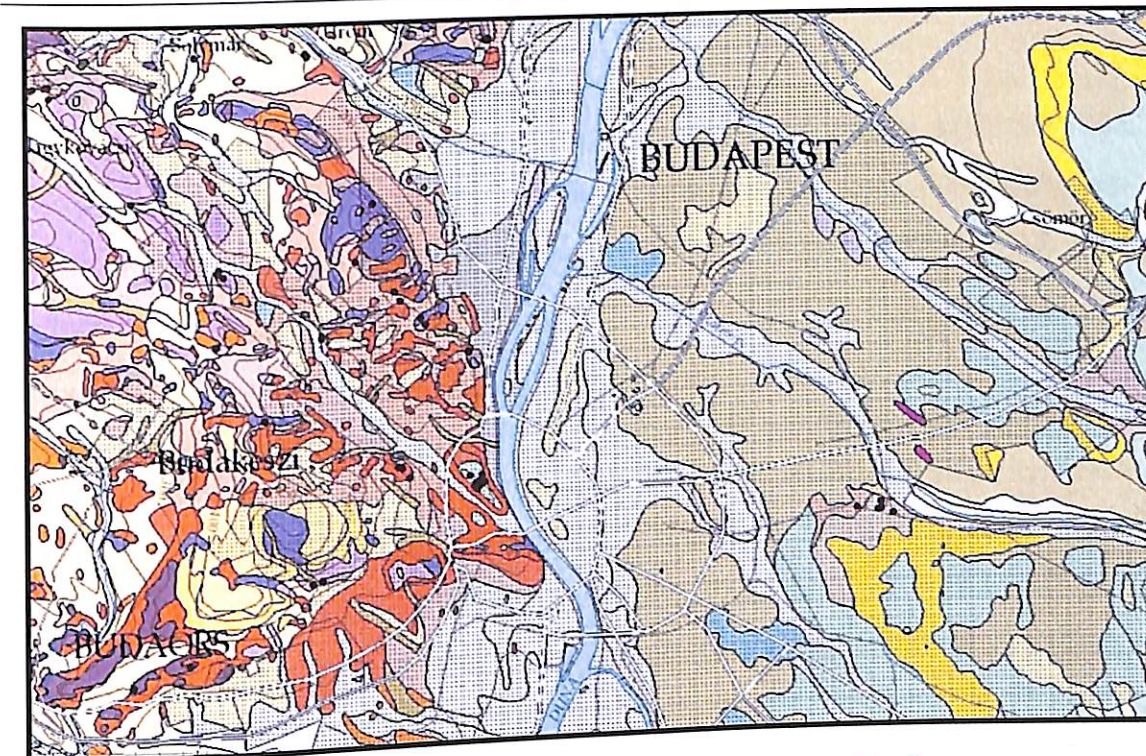
Az alagút az V. kerületben a Kálvin térről indulva a Fővám tér mellett ívben halad el, és fordul a Deák Ferenc tér irányába. Ezt a területet belvárosi jelleg, erősen beépített 5-6 szintes polgári téglalakások, szűk keskeny utcák jellemzik. Szinte nincs is beépítetlen része a területnek. A burkolt gyalogos járdák, és az utak teljesen elfoglalják az épületek között maradt részeket, zöldfelület szinte nem is található. Nyomvonal környezetében elhelyezkedő épületekről általában elmondható, hogy szemrevételezés

Szórádi Mihály
M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút tanulmány terve

során szerkezeti károsodások nem tapasztalhatóak, kevés vagy szinte nincs is romos állapotú épület.

8. Budapest geológiája

Budapest területén a legidősebb kőzet a felső triász korban képződött dolomit. A harmadkorban ezt a területet tenger borította. Ebből a tengerből ülepedett le a mészkő majd a budai márga. A budai márga eocén és oligocén korú, jellemzően 50 és 250 méter vastagságú rétegben települt. A márga üledékes, agyagos átmeneti karbonátos kőzet. A mélyebben fekvő részeken márga és mészmárga jellemzi a felsőbb magasabban fekvő rétegeit agyagmárga alkotja. Az agyagmárgás részeken nem ritkák a betelepült homokkő és mészkő padok. Az oligocén idején keletkezett a normálsósvízi világosszürke, agyagos, agyagmárgás aleurit. Erre a rétegre jellemző, hogy kemény világosszürke, agyagos, agyagmárgás aleurit. Erre a rétegre jellemző, hogy kemény állékony rétegek alkotják, ám ezek a talajok gyakran repedezettek, főleg a vetők miatt. A felső oligocén idején a térszín lassú emelkedésnek indult ezáltal a tenger visszahúzódott. A miocénban a tenger újra előrenyomult, ekkor keletkezett a badeni, szarmata üledék. Ez jellemzően homokos, iszapos, változatos agyagrétegekből tevődik össze. Egyes rétegeiben agyag és mészmárga is előfordul de nem ritkák a nagyobb kiterjedésű homokos betelepülések sem. A tengerek visszahúzódása után az Ős-Duna alakította Budapest geológiáját. A Duna medre napjainkban is folyamatosan szépen lassan nyugat felé tolódik és a jobb partját folyamatosan erodálja. Miközben nyugat felé halad a folyó az eddig ismertetett képződmények felső részét folyamatosan elhordja és a helyére a felsőbb szakaszokról érkező homokos kavics folyóvízi hordalékot lerakja a bal parton. Ez a folyóvízi üledék található a pesti oldalon 10-15 méteres vastagságban. Ezért az idősebb oligocén képződmények csak a kavicsos réteg alatt kezdődnek a pesti oldalon. A budai oldalon ez az erózió még nem következett be a felszínt jellemzően csak a szél és a csapadék alakítja, ezért itt magasabban fekszenek az oligocén rétegek. Buda sekélyebb részein, mint például Budafok környéke, melyeket gyakran elöntött a Duna, szintén folyóvízi üledéket találunk a felszín közelében. A következő térképen ez az elkülönülés jól megfigyelhető.



6. ábra Budapest felszínközeli földtani térképe⁶

Jelölések a térképen	
Fehéres-barnás pöttyözött:	Folyóvízi homok
Narancssárga pöttyözött:	Budai márga és kiscelli agyag
Halványsárga pöttyözött	Mészkö
Kék:	Dolomit

⁶<http://map.mfgi.hu/fdt100/>, Magyarország földtani térképe

9. Alagút geotechnikája

Az alagút általam kijelölt nyomvonala igen közel esik a korábban kijelölt nyomvonalhoz ami alapján meghatározták a fúrások helyét. Ennek köszönhetően az alagutam jól beilleszthető a rendelkezésre álló fúrásadatok által meghatározott földtani szelvénybe.

9.1.1. Elvégzett terepi vizsgálatok áttekintése

A terepi vizsgálatokat UVATERV megbízásából az Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat végezte. Fúrások helye a helyszínrajzon tekinthető meg, melyeket az UVATERV jelölt ki. Fúrások közül kettőt 1977-ben a maradék kilencet 1978-ban mélyítették. A feldolgozott 11db fúrás terjedelme: 623,7 fm amiből az U-jelű fúrások 503,7 fm-t tesznek ki. Fúrások átlagos mélysége 60 m. Fúrások feltárások Ra-312 típusú illetve G-200 számú berendezéssel készültek. Fúrások átmérője és mintavevő készüléke fúrásonként a talajadottságoktól függően változott. 6-10 méteres mélységig 245 mm átmérőjű kanálfúróval dolgoztak, ezután maximum 15 méterig 165 mm átmérőjű dugattyús iszapolóra váltottak, 15 méteres mélység alatt ZM 58-as típusú magcsöves fúróval haladtak a talpmélységig. A fúrások talpmélységében minden esetben kísérletet tettek orientált magminta vételére. A mintavétel nem minden esetben sikerült. Az orientált magminta az esetleges csúszólapok irányát tudja megmutatni.

Kutatólétesítmények adatai táblázatosan					
Sorszám	Fúrások jelölése	Talp-mélység [m]	Terep-szint [mBf]	Kivitelezés ideje	Magkihozatal
1.	K-13	60,00	105,10	1977.III.4-III.11	99,00
2.	K17	60,00	105,375	1977.V.24-V.31	100,00
3.	U-1	61,00	~ 107,5	1978.III.13-III.22	95,74
4.	U-2	60,30	~ 104,0	1978.III.23-IV.6	96,51
5.	U-3	61,00	~ 104,0	1978.IV.7-IV.13	97,21
6.	U-4	61,10	~ 105,0	1978.IV.14-IV.20	94,34
7.	U-5	60,00	~ 105,0	1978.IV.21-IV.29	95,00
8.	U-6	60,30	~ 106,0	1978.V.2-V.12	95,68
9.	U-7	60,50	~ 105,0	1978.V.13-V.21	97,68
10.	U-8	60,00	~ 105,0	1978.V.22-V.30	97,66
11.	U-9	20,50	~ 105,0		98,05

A fúrások többségében geofizikai mérés is készült. Geofizikai mérések elsősorban az agyagosság és a testsűrűség megállapítása érdekében készültek. Ezen méréseket nem használtam fel közvetlenül.

9.1.2. Geotechnikai viszonyok

Az alagút nyomvonalán jól kirajzolódik a pesti oldalra jellemző rétegződés. A feltárt rétegek egymástól jellemzően csak települési mélységükben, rétegvastagságukban térnek el az egymástól a különböző fúrások helyén.

Felső réteg általában egy változó rétegvastagságú homokos feltöltés. Ezen réteg vastagsága a geotechnikai szelvényben 1 és 6 méter között váltakozik. Feltöltés alatt vékonyabb homokrétegek találhatók, olykor ezek a homokrétegek a feltöltés felett a felszínen helyezkednek el. Homokrétegek vastagsága nem haladja meg a 3 métert. A felszíntől számítva 6-8 méteres mélységben szinte minden fúrásszelvényben megtalálható egy 6-7 méter vastagságú homokos kavics illetve kavicsos homok réteg. Elmondható hogy a felső 13-16 méter, eltekintve a feltöltésektől, az Ős-Duna hordaléka.

Az említett Duna hordalék alatt, fúrásonként nagyon hasonló, 13-16 méteres mélységben éles váltás következik be a rétegekben. Innentől már oligocén zónát találunk. Az oligocén zóna több fúrásban, iszaposabb, változékony aleurit betelepülésekkel jelenik meg. Ahol ezek a betelepülések nem jelennek meg ott agyagos aleurit talaj van. Erre a talajra jellemző hogy, közepesen kemény III.oszt.,kalapácsütésre apró fényes felületű darabokra törik. Ez az úgynevezett expandált, repedezett zónája az oligocén kiscelli agyagnak. Az expanziós zóna becsült alsó határa a földtani szelvényen szaggatott vonallal van jelölve. Általában a felszíntől számítva 25 méteres mélységig tart. Az expandált, repedezett zóna alatt, töredezettségét tekintve épebb rétegeket találunk. Anyag összetételét tekintve azonos a felső agyagos aleurit oligocén zónával. Viszont a rétegek már kevésbé repedezettek, a magmintákban gyakoribbak a teljesen ép repedésmentes szakaszok. Keménységüket tekintve IV. kemény néhol akár V. osztályú. Az oligocén zóna homogénnek tekinthető.

9.1.3. Tektonizmus.

A fúrásszelvények leírásából kitűnik hogy gyakoriak a repedezett magminták. A jelentősen repedezett részek vetőzónává lettek nyilvánítva. Ezen vetőzónák iránya az orientált talpmintákból lettek megállapítva. A vetőzónák elhelyezkedései geotechnikai szelvényen jelölve vannak.

9.1.4. Talajfizikai paraméterek

A földtani vizsgálathoz tartozó laborvizsgálatok nem álltak a rendelkezésemre, csak a helyszíni szemrevételezés során feljegyzett rétegződés jellemzése. Ezért a talajok fizikai paramétereit más forrásból határoztam meg.

Alagút szempontjából a felső 10-15 méter homokos kavics réteg, csak a Kálvin tér közelében bír fontossággal, ezen a részen van a legközelebb a fötte a felszínhez. Mivel nem ebben a zónában helyezkedik el a műtárgy és a felső rétegekben a ráépítések hatására bekövetkezett feszültségátrendeződések már lezajlottak, ezen talajok talajparamétereiben a valóságtól való eltérés, a modellben nem okoz lényegi elváltozásokat. A feltöltések összetétele egyébként is hordoz magában változatosságot. Ezért felső 15 méter jellemző paramétereit az alagút méreteséhez használt GEO 5 szoftver beépített talaj adattárát használtam, illetve helyenként változtattam rajtuk.

Az alagút magassági vonalvezetését tekintve az oligocén expandált zónából indul ki, és folyamatos egyenletes eséssel közelíti meg a Deák teret. Itt az alagút fötője már körülbelül 40 méteres mélységben van a kevésbé expandált kiscelli agyagban. Emiatt a vonal jó részén a felső eocén réteg csak mint felszíni teher van jelen.

Az oligocén zóna anyagtulajdonságainak felvételére több szakirodalmat tanulmányoztam. A szakirodalmak között vannak doktori munkák, kutatások és a korábbi metróépítés tapasztalatairól szóló dokumentumok. A szakirodalom tanulmányozása után a kiscelli agyagot kettő különböző rétegre bontottam. E kettő réteg a felső expandált zóna, és a kevésbé expandált zóna. Ezen szakirodalmak rámutatnak a kiscelli agyag közetszerű szövetes jellegére, és új szempontok szerint vizsgálják azt. A kutatások rávilágítanak arra, hogy a kőzetet településének helyén vizsgálva, a rutin laborvizsgálatoktól eltérő, esetenként jóval kedvezőbb tulajdonságokkal találkozunk.

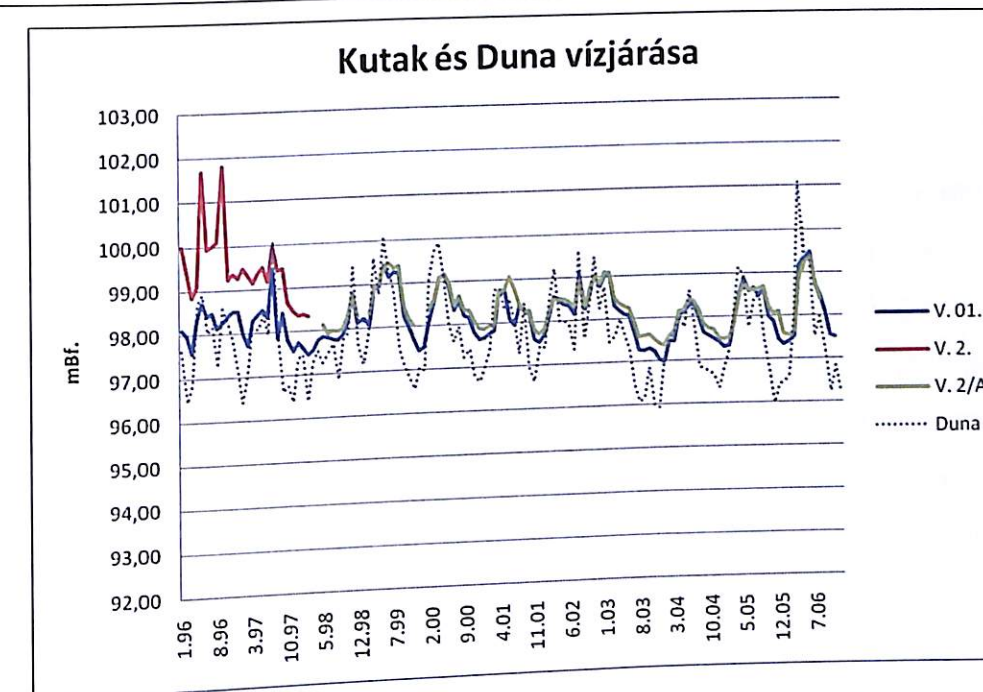
Talajfizikai paraméterek							
Talaj	E [Mpa]	ϕ [°]	c [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_t [kN/m ³]	μ [-]	ψ [°]
homokos feltöltés	30	35	0	20	21	0,28	0
homokos kavics	80	35	0	19	20	0,25	0
homokos agyag	12	24	14	18,5		0,35	0
expandált oligocén	150	31	200	21	22	0,35	0
kevésbé expandált olig.	220	31	250	22	23	0,35	0
jetgrouting	10000	31	450	2,4	2,4	0,2	0

9.1.5. Geotechnikai modell

A geotechnikai modell megalkotása során a részletes földtani szelvényt vettem alapul. Ezen a szelvényen a könnyebb kezelhetőség érdekében az előzőekben leírtak alapján több egyszerűsítést végeztem. A felső 15 méterben jellemzően 2 talajt definiáltam, egy homokos feltöltést és egy homokos kavics talajt. Illetve 1 helyen található a modellben homokos agyag az alagút Kálvin térhez közel eső szakaszán. A kiscelli agyagban szintén két zónát határoztam meg. A réteghatár a földtani szelvényben jelölt expandációs határ. Ezt a két zónát vízzárónak tekintettem. A geotechnikai szelvény a D-4 rajzon található.

9.1.6. Talajvíz viszonyok

A felső kavicsos homokos rétegek jelentős talajvíz tartó kapacitással rendelkeznek. Ezen rétegek nagy vízáteresztő képességük és a Duna közelsége révén összefüggésben vannak a folyó mindenkori vízállásával. A vízállástól függően apasztják illetve táplálják a vízfolyást. Erre az összefüggésre mutat rá a következő diagram. A diagram 10 éves intervallumon mutatja a Deák tér közelében lévő talajvíz kutak és a Duna vízállását.



7. ábra V. Kerületi talajvízkutak vízállás diagram⁷

A fúrások során agresszív, korrozív hatású talajvíz nem jelentkezett. A nyugalmi vízszint majdnem minden fúrásban 5 méteren vagy annak a közelében állapodott meg. Az oligocén réteg gyakorlatilag vízzárónak tekinthető, bár a vetőzónák környékén egy erősebb fellazulás hatására leszivároghat a talajvíz. A fűrőlyukakba rétegvíz betörést nem volt észlelhető.

⁷ Budapest talajvízkutak idősorainak hidrológiai elemzése, Szabó-Mészáros Marcell,

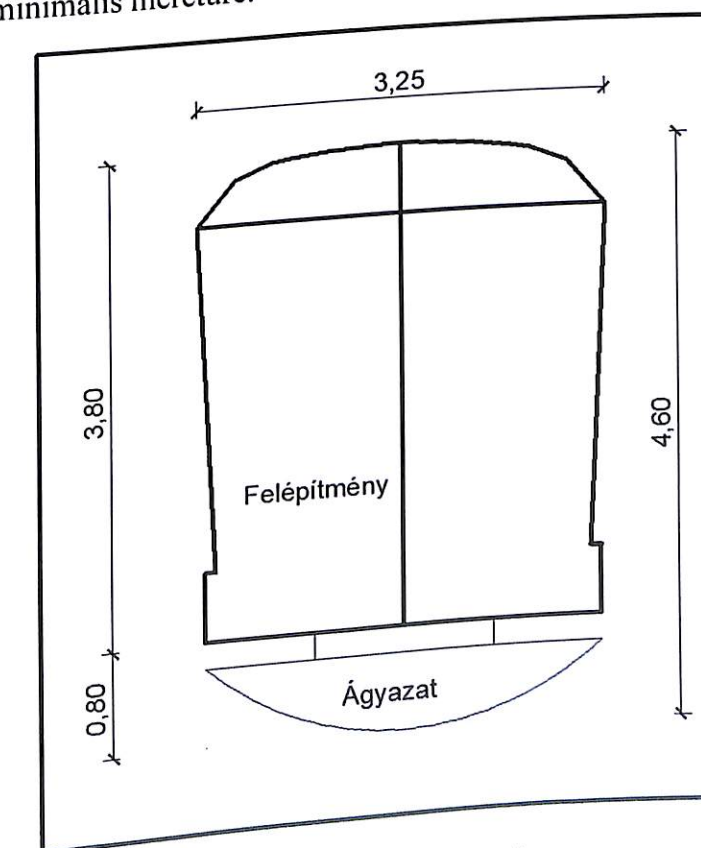
10. Alagút előkészítése számításra

10.1. Építési módszer

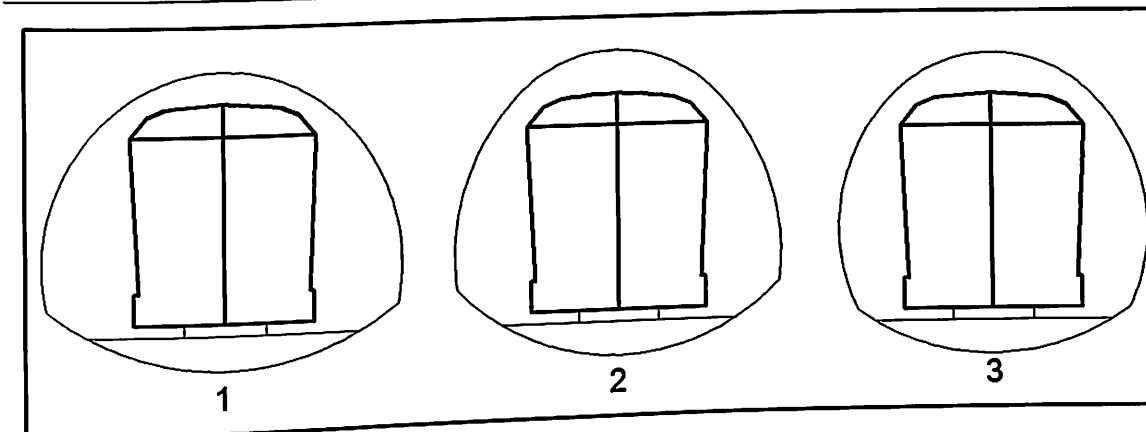
A ma alkalmazott alagútépítési módszerek közül alapvetően kétféleképpen épülhet egy közepes átmérőjű alagút. Az egyik módszer a pajzsos módszer a másik az Új Osztrák Alagútépítési Módszer. Az Új Osztrák Alagútépítési Módszer esetén a geometria variálhatósága jelentős. A pajzsos építés előnye a kevesebb élőmunka igény és a magas fokú automatizált munkafolyamatok, illetve a jó süllyedések kiváló kontrollálhatósága. Viszont figyelembe véve hogy nem páros alagútról van szó és a teljes hossz csak 1,3 kilométer, a pajzs alkalmazása igen gazdaságtalan megoldás lenne. Ezért az alagutat az Új Osztrák Módszerrel terveztem kialakítani.

10.2. Alagút szelvény

Az alagút keresztmetszetének kialakításához a 4-es metrónál alkalmazott vasúti ürszelvényt vettem alapul. 40 centiméteres falvastagságot feltételezve próbáltam a lehető legkisebb magasság és oldal kiterjedésű keresztzelvényt kiszerkeszteni. A szelvény szerkesztéséhez a Geo 5 szoftver beépített alagút alak generátorát használtam. Az kiválasztott keresztmetszet méret és ívparamétereit próbálgatás útján csökkentettem a szükségesen minimális méretűre.

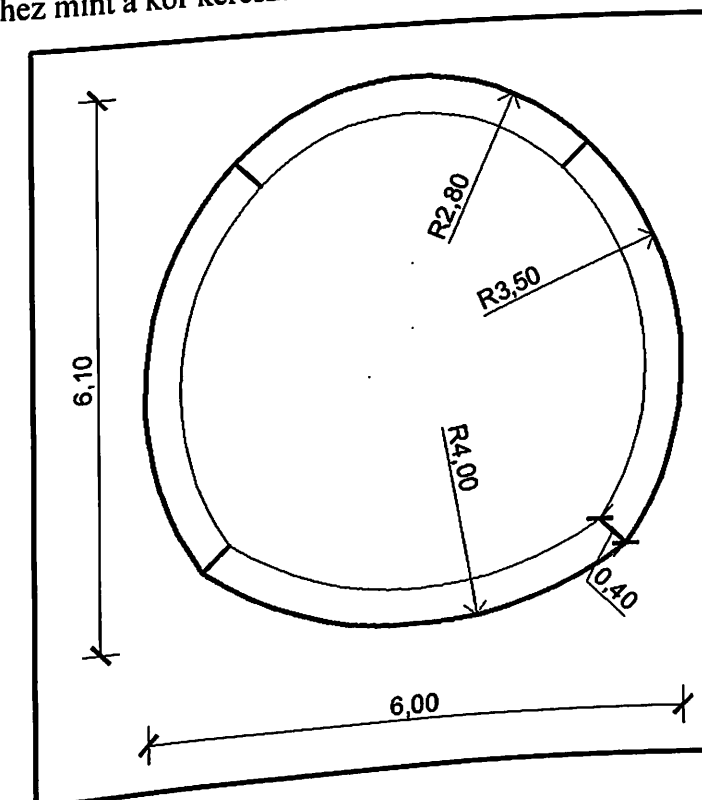


8. ábra Vasúti ürszelvény



9. ábra Lehetséges alagút

A keresztmetszeti kialakítások közül a 3-as számú változatot tartottam a legmegfelelőbbnek, mert ennek a szelvénynek a legkisebb a homlokfelülete. Továbbá a hármas szelvény mellett a legkisebb a fennmaradó kitöltetlen tér. A vasúti felépítmény és az alagút falazata közötti legkisebb távolság egyenes szakaszon 0,4 méter. A kiválasztott szelvény három különböző sugarú ívből tevődik össze. Ez az úgynevezett „békaszáj szelvény”, bár ebben az esetben a klasszikustól kicsit eltérő arányokkal rendelkezik. A hálós vasalással és az előre gyártott mintaívvel ez a szelvény könnyen kialakítható. A különböző sugarú ívek előnye, hogy jobban simulnak a szerelvény keresztmetszetéhez mint a kör keresztmetszet.



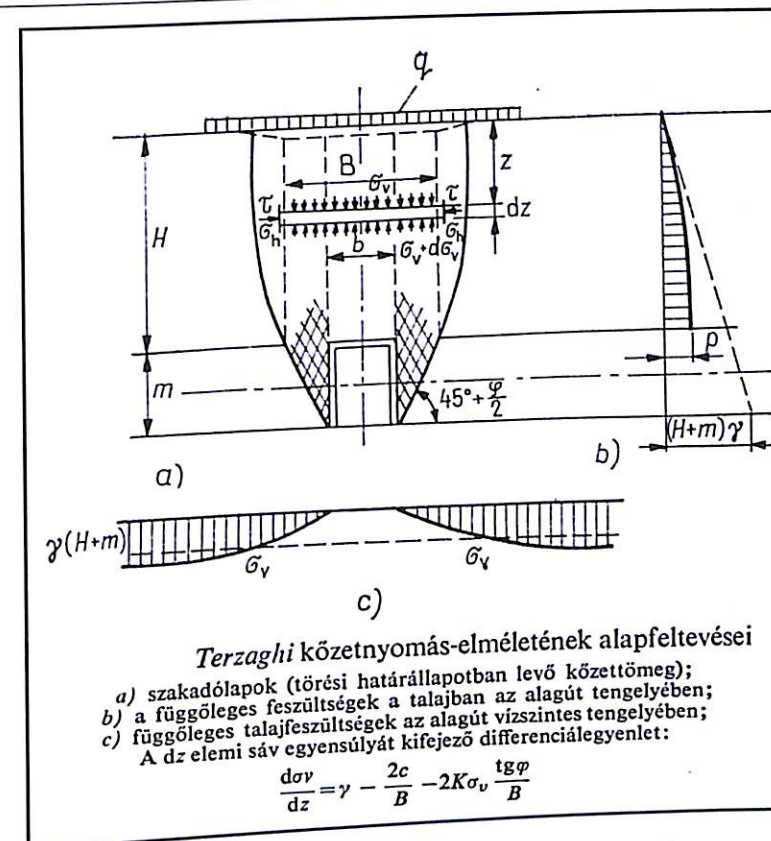
10. ábra Alkalmazott szelvény

10.3. Alagútra ható erők

Az alagutat minden irányból talaj veszi körül. Az alagút építése közben és után a falazatra ez a talaj teherként hat. E teher nagysága a talaj tulajdonságainak, az üreg nagyságának és mélységének függvényében eltérő lehet. A kialakuló terheket és a terhek okozta feszültségeket több közetnyomás elmélettel közelíthetjük. Ezek közül kettőt ismertetek az egyik Terzaghi elmélete, a másik Protodjakonov elmélete.

10.3.1. Terzaghi féle közetnyomás

Terzaghi közetnyomás elmélete a silónyomás elvén alapszik. A silónyomás szemcsés anyagok zárt oldalfalú építményben való tárolása során jön létre. Kellően nagy magasságú tároló esetén a függőleges és vízszintes feszültségek hatására a szemcsés anyagtömeg, és a tároló oldalfala között akkora súrlódás tud kialakulni hogy a szemcsés anyag befeszül a tároló falai közé. Vagyis, a felsőbb rétegek tömegéből származó súlyerő nem terheli oly mértékben az alsóbb rétegeket mintha ez az egyensúlyi állapot nem állt volna be. Ezáltal a vártnál alacsonyabb vízszintes és függőleges feszültségek alakulnak ki. Ez a befeszülés akár olyan mértékű is lehet, hogy az alsóbb rétegek eltávolítása után üreg is kialakulhat a szemcsés anyagban. Ha üreg nem is alakul ki a feszültségek mindenképpen csökkenhetnek.



11. ábra Terzaghi közetnyomás elmélet⁸

Hatásszélesség meghatározása

$$B = 2 \left[\frac{b}{2} + m \cdot \tan(45^\circ - \varphi/2) \right]$$

Közetnyomás Terzaghi szerint

$$\sigma_v = \frac{B \cdot \left(\gamma - \frac{2c}{B} \right)}{2 \cdot K \cdot \tan \varphi} \cdot \left(1 - e^{-K \cdot \tan \varphi \cdot \frac{2 \cdot H}{B}} \right) + q \cdot e^{-K \cdot \tan \varphi \cdot \frac{2 \cdot H}{B}}$$

K= a függőleges és vízszintes feszültségek aránya, silónyomás esetén K≈1

γ=közet súlyereje

c=kohézió

φ=belső súrlódási szög

H=főte mélysége a felszíntől

m=üreg magassága

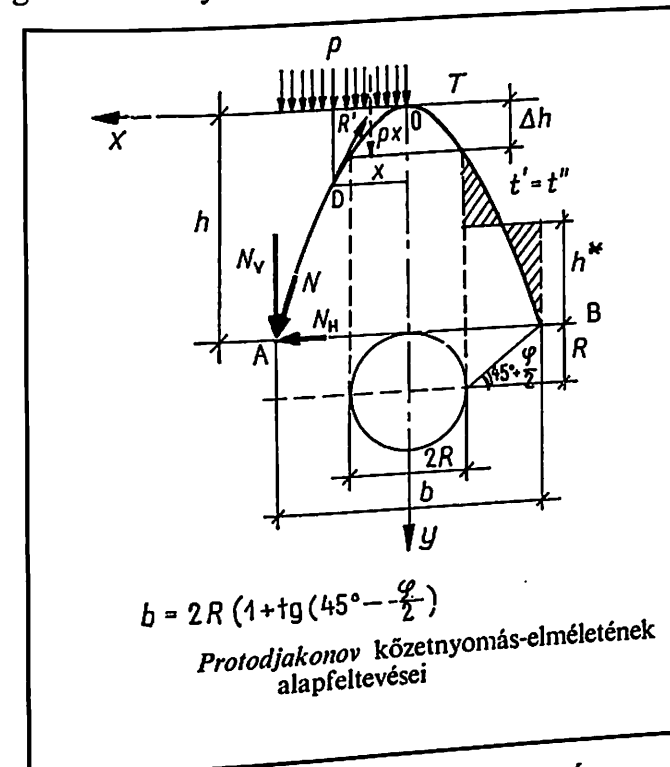
q=felszíni teher

10.3.2. Protodjakonov közetnyomás elmélet

Kellő mélységbe helyezve az alagutunkat Protodjakonov szerint sem a teljes súlyerők hatnak az alagútra. Ha így lenne lehetetlen, lenne nagy mélységben alagutat építeni mert a falazatnak a teljes felette lévő talajtömeget meg kéne támasztania.

⁸ Metró kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó 1982, 296. oldal, 3-181. ábra

Protodjakonov feltételezi, hogy az üreg körül a talaj fellazul, expandálódik, és a fellazult közettömeg felett egy természetes boltozat jön létre. A boltozat feletti közettömeg eredeti állapotában marad és nem terheli az alagutat. Ezáltal az alagútnak csak a fellazult, talajtömeg súlyerejét kell ellensúlyoznia. A természetes boltozatot Protodjakonov egy parabolával közelíti. A tapasztalatok szerint a parabola kialakulásához a takarási mélységnek az üreg átmérőjének legalább öt-hétszeresének kell lennie. Amennyiben az átboltozódási parabola nem alakul ki, úgy a teljes geosztatikai nyomás terheli a falazatot.



A parabola egyenlete: $y = \frac{2x^2}{b \cdot f}$

A parabola magassága: $h = \frac{b}{2f}$

Kohéziós talajnál $f = \tan \varphi + \frac{c}{\sigma_u}$

σ_u = talaj nyomószilárdsága

12. ábra Protodjakonov közetnyomás

Az alagútra a Protodjakonov szerinti közetnyomás számítást végeztem el. A számítási modellnél az oligocén feletti kavicsos réteget mint felszíni teher vettem figyelembe. E szerint a felszínre két komponensből áll össze, az egyébként is működő terhekből és a szemcsés réteg nedves térfogatsúlyából.

⁹ Metró kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó 1982, 296. oldal, 3-182. ábra

Kőzetnyomás Protodjakonov számítás alapján					
ϕ :	31	[°]	f :	1,001	
c :	200	[kPa]	b :	9,395	[m]
r :	3	[m]	h :	4,693	[m]
q :	350	[kN/m]	F :	29,394	[m ²]
γ :	22	[kN/m ³]			
σ_u	500	[kPa]	P :	646,68	[kN/m]

Felhasznált képletek:

$$b = 2 * r(1 + \tan(45^\circ - \varphi/2))$$

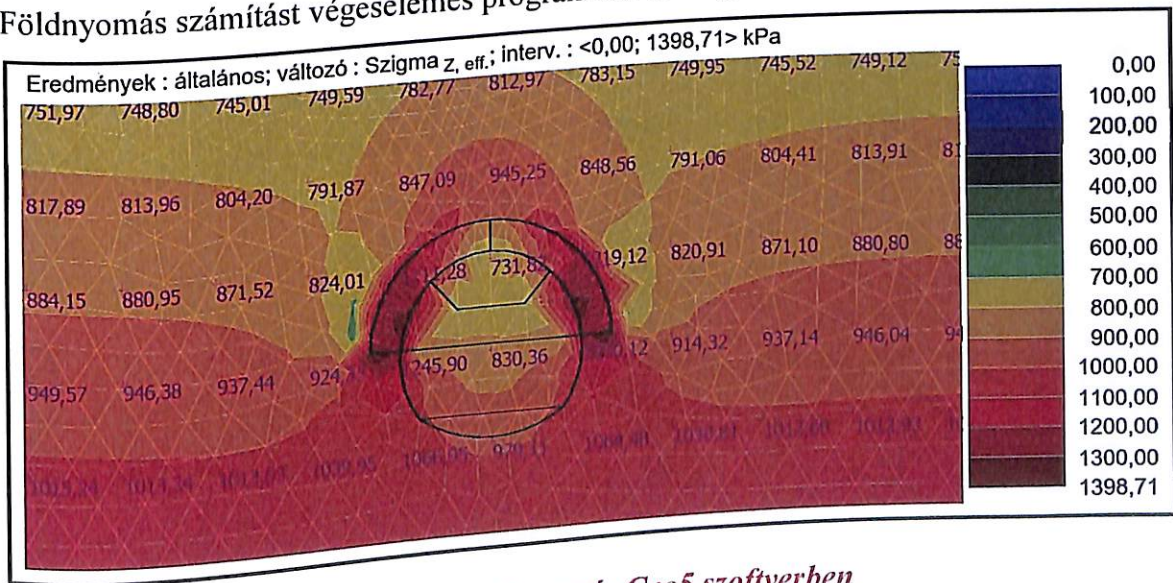
$$f = \tan \varphi + \frac{c}{\sigma_u}$$

$$h = \frac{b}{2f}$$

$$P = \frac{2}{3} * b * h * \gamma$$

A számítás szerint kialakul az átboltozódási parabola, a parabola magassága 4,9 m.
Tehát az alagutat a parabolán belül helyezkedő földtömeg terheli **646,68 kPa** nyomással.

10.3.3. Földnyomás Geo5-ben
Földnyomás számítást végeselemes programmal is meghatároztam.



13. ábra Földnyomás Geo5 szoftverben

A program szerint az alagút főtéjének közelében körülbelül 1000kPa kőzetnyomás uralkodik. Mivel a területen vetőkkel kell számolni, ami megbonthatja a kőzet folytonosságát, ezért kézi számítás során igazolt, kialakult parabola hatását a biztonság

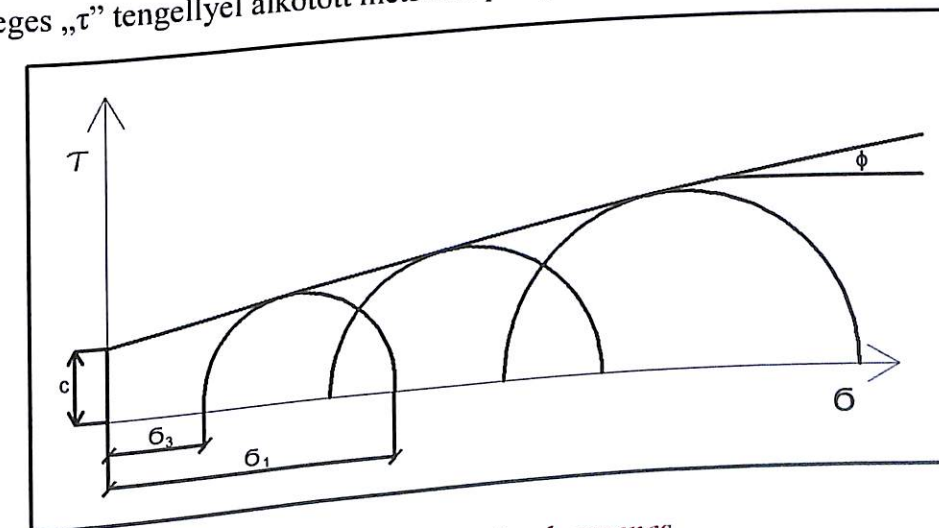
javára elhanyagolom. A további számítások során a program által számolt közetnyomásokat és az azokból számolt igénybevételeket használom.

10.4. Anyagmodellek

A Geo 5 szoftverben több, a talajok fizikai viselkedését leíró anyagmodellt rendelhetünk az aktuális talajokhoz. Az anyagmodellek közül kettőt próbáltam ki egy kiválasztott közös szelvényben a kiscelli agyagban. E kettő modell a Mohr-Coulomb és a Drucker-Prager.

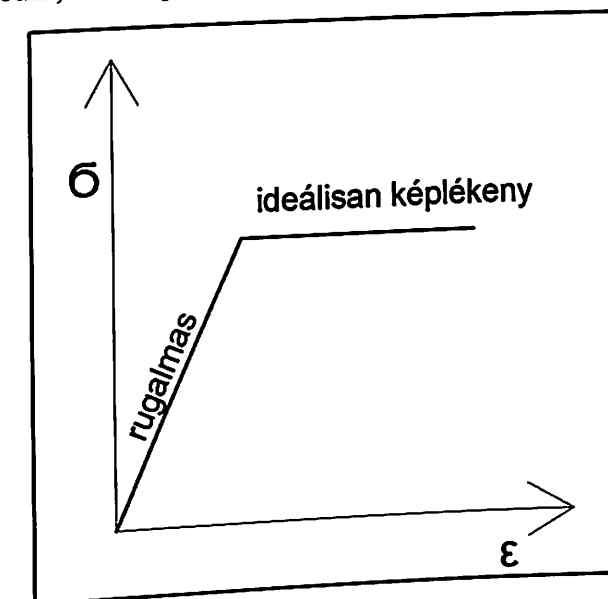
10.4.1. Mohr-Coulomb modell

A geotechnikában ez egyik legelterjedtebb, általánosan alkalmazott talajmodell. Ez a modell az anyag ideálisan rugalmas-képlékeny viselkedését feltételezi. A modell a Hooke és a Mohr-Coulomb törvény szerint szimulálja a talaj viselkedését. Hooke törvény kimondja hogy egy lineárisan rugalmas test alakváltozása egyenesen arányos a testre ható erő által okozott feszültséggel. A modell a talajok nyírószilárdságát a Mohr-Coulomb nyírási feltétel szerint számolja. E szerint a talaj nyírási ellenállása függ az első főfeszültségtől, a talaj kohéziójától és a súrlódástól. $\tau = \sigma \cdot \tan \phi + c$
Ez a feltétel egy törési egyenest határoz meg. A törési egyenes triaxiális vizsgálattal állítható elő. A triaxiális vizsgálat során azonos talajból több meghatározott méretű zavartalan talajmintát, különböző oldalfeszültség mellett normálfeszültséggel törésig terheljük. A kapott eredményeket koordináta rendszerben Mohr körökkel ábrázoljuk. A kiserkesztett Mohr körökre közös érintőt húzva, az érintő adja a Coulomb féle törési egyenest. Ahol az egyenes vízszintessel bezárt szöge a talaj belső súrlódási szöge, a függőleges „ τ ” tengellyel alkotott metszése pedig a talaj kohéziója.



14. ábra Coulomb egyenes

A modell mindaddig lineárisan rugalmas alapon kezeli a talajt míg a törési feltétel, vagyis a $\tau = \sigma \cdot \tan \varphi + c$, által megadott nyírási ellenállást, át nem lépik a talajra ható erők okozta nyírófeszültségek. E nyírófeszültségi ellenállás kimerülése után a talaj képlékenyen viselkedik, és létrejönnek a maradó alakváltozások.



15. ábra Mohr-Coulomb anyagmodell

A modellben a talajt a következő paraméterek alapján definiálhatjuk

γ : A talaj térfogatsúlya, ebből megadhatunk egy telített térfogatsúlyt is

E : Rugalmassági modulus, a talaj alakváltozási arányossági tényezője

ν : Poisson tényező, megadja a testre ható erő irányával megegyező irányú, és az arra merőleges irányú alakváltozások arányát

ϕ : A talaj belső súrlódási szöge

c : A talaj kohéziója

ψ : Dilatációs szög, az alakváltozás hatására fellazult talaj térfogatváltozásának mértéke

Mohr-Coulomb módszer előnye, hogy szokványos laborvizsgálatokból meghatározható bemenő paraméterek figyelembevételével modellezi a talajt, és alkalmazható a stabilitás vizsgálatoknál. Ami kulcskérdés a biztonsági tényező meghatározásánál.

10.4.2. Drucker-Prager talajmodell

Ez egy felkeményedő talajmodell. A felkeményedő talajmodellnél a terhelések nyomán egyszerre keletkeznek rugalmas és képlékeny alakváltozások. A terhelés megszűnése után a talaj nem nyeri vissza eredeti alakját, abban maradó alakváltozások jönnek létre. Vagyis a talaj nem felejt el a kapott terhelést. A modell fejlettsége a

Mohr-Coloumb modellel szemben az, hogy nem csak a törési ellenállást teszi függővé az oldalfeszültség nagyságától hanem az összenyomódási modulust is. Azt feltételezi, hogy az adott talaj a terhelések hatására megnövekedő oldalfeszültségekre úgy reagál, hogy növekszik az összenyomódási modulusa, aminek hatására csökkenhetnek az alakváltozások. A felkeményedő talajt mennyiben az elsődleges terhelés megszünte után, újra terheljük, akkor az elsődleges teher nagyságáig az alakváltozások rugalmas, alapon jönnek létre akárcsak a Mohr-Coulomb modellnél. Az elsődleges terhelés túllépése esetén a talaj ismét felkeményedő tulajdonságokat mutat. A felkeményedő talaj definiálásához a Mohr-Coulomb modellnél alkalmazottakon túl szükségünk van a tehermentesülési-újratehelési összenyomódási modulusra. Ennek értéke szoftvergyártói ajánlás szerint, háromszorosa az összenyomódási modulusnak. $E_{ur}=E*3$

10.4.2.1. Alkalmazott talajmodell

A kiválasztott szelvényben ugyanazon geometriai és bemenő talajadatok esetén mindkét modellel elvégeztem ugyanazon munkafázisokat. A végeleemes számítások lefuttatása után a kapott eredményeket vizsgálva, a kialakult süllyedésekben, szerkezeti igénybevételekben és a munkafázisok biztonsági tényezőjében nem tapasztaltam lényegi eltérést. Így a további számítások során a Mohr-Coulomb modellt alkalmaztam.

11. Alagút vizsgálata

11.1. Geo5 program

A feladat számítógépes feldolgozását Geo 5 programban végeztem el.

A Geo 5 program speciálisan építőmérnöki, geotechnikai problémák síkbeli megoldására alkalmas program. A program több különálló ám egymással kompatibilis modulból tevődik össze. Az alagút modellezését a Tunnel modulban végeztem és a FEM (Finite Element Method) modulban szimuláltam az építési fázisokat.

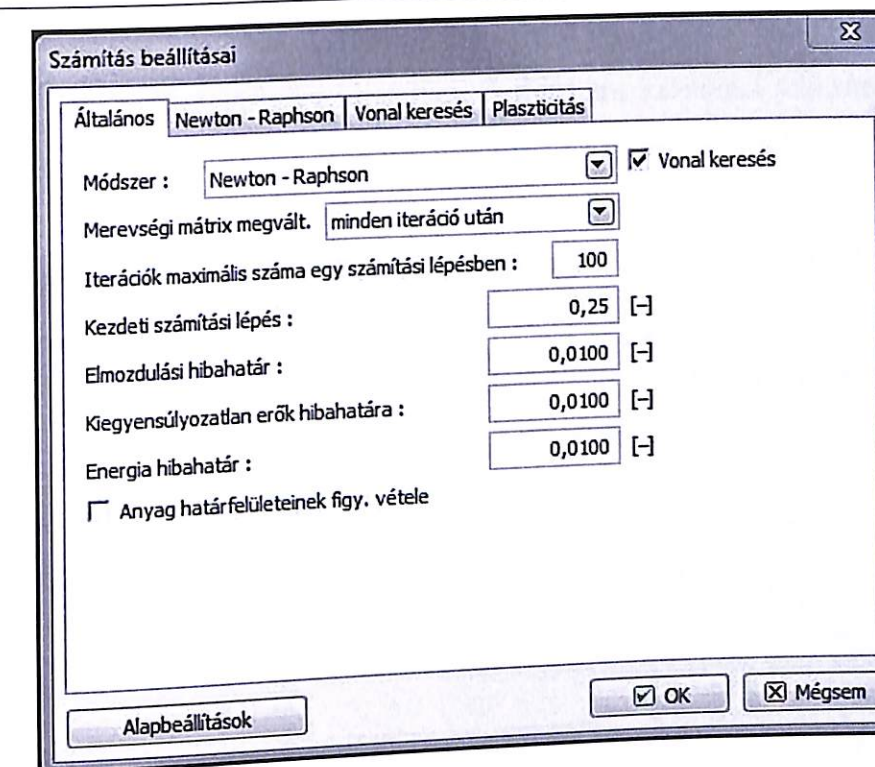
A FEM egy végeleemes számításokat alkalmazó eljárás. A végeleemes módszer egy numerikus matematikai módszer. A grafikus CAD felületen kialakítjuk a valóság egyszerűsített változatát a modellt. A geometriai modell megalkotása után anyagtulajdonságokat rendelünk az egyes elemekhez. Ezek után a program meghatározott méretű elemekre bontja az általunk megadott modellt. Ezeket az elemeket összekapcsolja, így kapjuk a végeleem hálót. A végeleem háló tulajdonképpen a modellünk váza, a program nem vizsgálja a valóság minden pontját, hanem a háló segítségével próbál egy a valóságot oly mértékben megközelítő egyszerűsítést alkalmazni amiből használható eredményeket kapunk. Az elkészült végeleem hálót a program képes matematikailag kezelni és parciális differenciálegyenletek megoldásával nyomon követi a hálóban történő elmozdulásokat, alakváltozásokat. A számításunk megbízhatósága nagyban függ a végeleemek nagyságától, a kisebb hálóelemek realisztikusabb viselkedést eredményeznek. Ezeket a matematikai számításokat előre beállított vagy a felhasználó által konfigurált hibahatáron belül teszi. A program a kapott eredményeket grafikus úton szintvonalasan vagy színskálával ábrázolja. E módszer az egyenletek bonyolultsága és mennyisége miatt kézi számításra alkalmatlan. Előnye a kézi számításokkal szemben, hogy könnyen változtathatók a bemenő paraméterek, gyors eredményt ad, ezáltal rövid időn belül több eltérő eset szimulációja válik lehetővé. Használatához azonban ismerni kell a folyamatok valós fizikai hátterét is, hogy adott esetben felismerjük a modell bemenő hibáit, illetve a kapott eredményeket megfelelően tudjuk értékelni.

A számítás során az Új Osztrák Alagútépítési Módszernek megfelelő építési fázisokat és anyagokat használtam. A programban síkbeli feladatként oldottam meg a modellezést. A tervezett alagutat jetgrouting talajerősítéses főtebiztosítás mellett vizsgáltam, a homlokfejtést több fázisra osztottam, ennek megfelelően a falazat is több

részben került beépítésre. A számítás során az alagút falazatát 30 centiméteres C30/37-es beton keresztmetszettel modelleztem. Számítás során a kialakult süllyedéseket és a falazatban keletkező igénybevételeket vizsgáltam.

11.2. Lefuttatott számítások

A számítás megkezdése előtt beállítottam a számítás paramétereit, az alagutat a könnyebb kezelhetőség érdekében síkbeli alakváltozás módszerével számítottam, tehát nem tengelyszimmetriát alkalmaztam, hanem a teljes szelvényt vizsgáltam. Így megnőtt a feladat számítási igénye, de a kapott eredmények és ábrák szemléletesebbek. Betonszerkezet tervezési szabványaként az EN-1992-1-1 (EC2) szabványt állítottam be. A számítási módszerek közül a numerikus analízisben az egyik legjobban ismert, és elterjedt módszert a Newton-Raphson módszert választottam. Ennek az eljárásnak lényege hogy a program az elkészült végeselmhálóban történő elmozdulásokat és feszültség változásokat függvényekkel definiálja. Mely függvények a gyökeit keresi a program. Mivel jelentős mennyiségű függvényről van szó a gyökök pontos, algebrai úton történő meghatározása igen sok időt venne igénybe. E helyett a Newton módszerrel a program tesz egy előbecslést a gyök értékére, ezzel az előbecsléssel megvizsgálja a függvényt, hogy a hálóban beáll-e egy stabil egyensúlyi állapot. A vizsgálat után az előző előbecslés alapján finomítja a következő becslést és újra vizsgálja az egyensúlyi állapotot illetve az attól való eltérés mértékét. Ezt a ciklikus iterációt addig folytatja a program ameddig az általunk megadott hibahatáron belüli lesz az elmozdulás. Ezzel a módszerrel nem kapunk pontos eredményt, de a gyakorlati felhasználásra mégis megfelelő egy ilyen közelítő érték, melynek a valóságtól való eltérése gyakorlati szempontból elhanyagolható. A hibahatárok beállítását a program által javasolt alapbeállításokon hagytam.

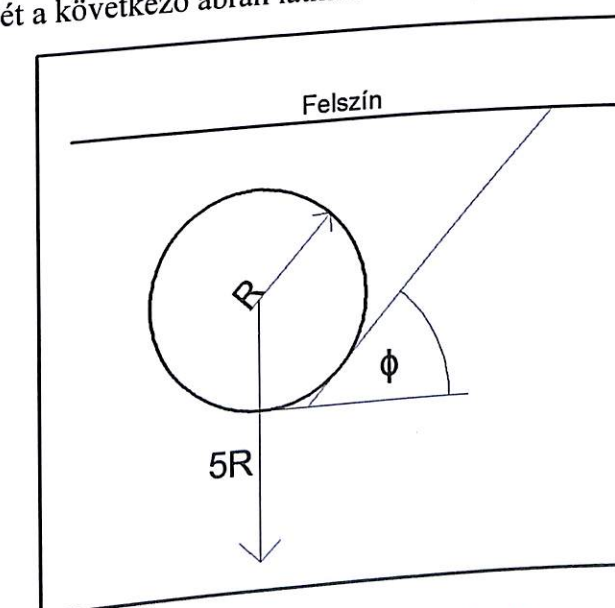


16. ábra Számítás beállításai

11.2.1. Számításlépései

A Geo 5 programban a számítás több lépésből tevődik össze.

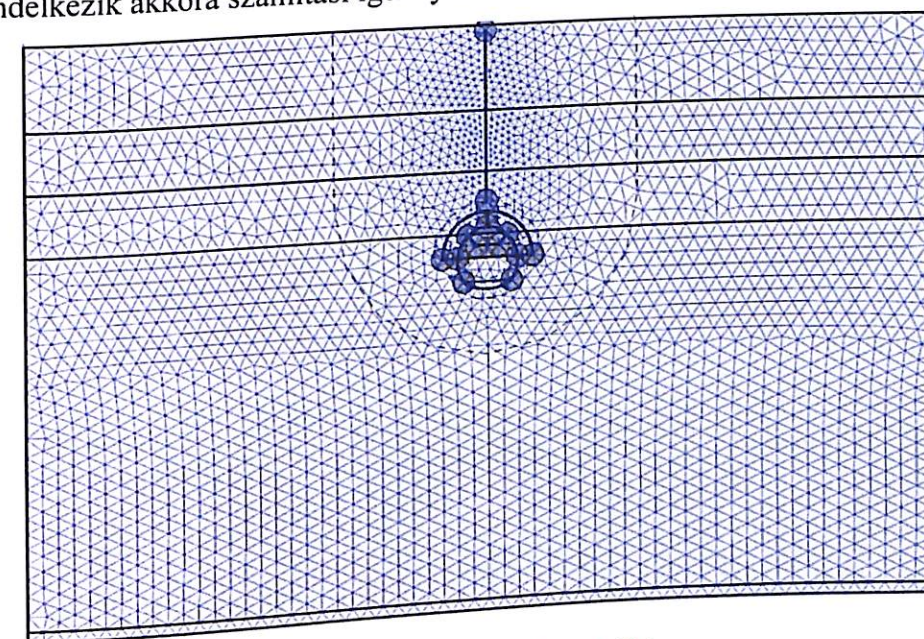
Első lépésként a hossz-szelvényen felvettem a kívánt helyen egy metszetet, ezen metszet teljes szélességében az adott metszetre jellemző rétegződést vettem figyelembe. A modelltér méretét a következő ábrán látható összefüggések alapján határoztam meg.



17. ábra Modelltér lehatárolás

A modelltér kialakítása után megadtam a talajrétegződésnek megfelelő felületeket és berajzoltam az alagút keresztmetszetét, a jetgrouting zónát illetve a földkiemelési

fázisok határát az alagúton belül. A geometria kialakítása után végeelem háló generálást végeztem el. A nagy modelltér és a szűkös számítási teljesítmény miatt, a modelltérben eltérő finomságú hálót definiáltam. A modell teljes felületén egy durvább, 1,5 méter élhosszúságú alap hálót alkalmaztam. Az előzetes számítások alapján a feszültségtrendeződések és a süllyedések jelentős része az alagút tengelyétől 15 méteres távolságban játszódik le. Ezért az alaphálót az alagút függőleges tengelye mentén 30 méter szélességben 0,5 élhosszúságú hálóra sűrítettem a pontosabb számítás érdekében. Az így besűrített háló a lényeges részekben realisabb értékeket ad, viszont nem rendelkezik akkora számítási igénytel mint egy teljes felületen finomított háló.

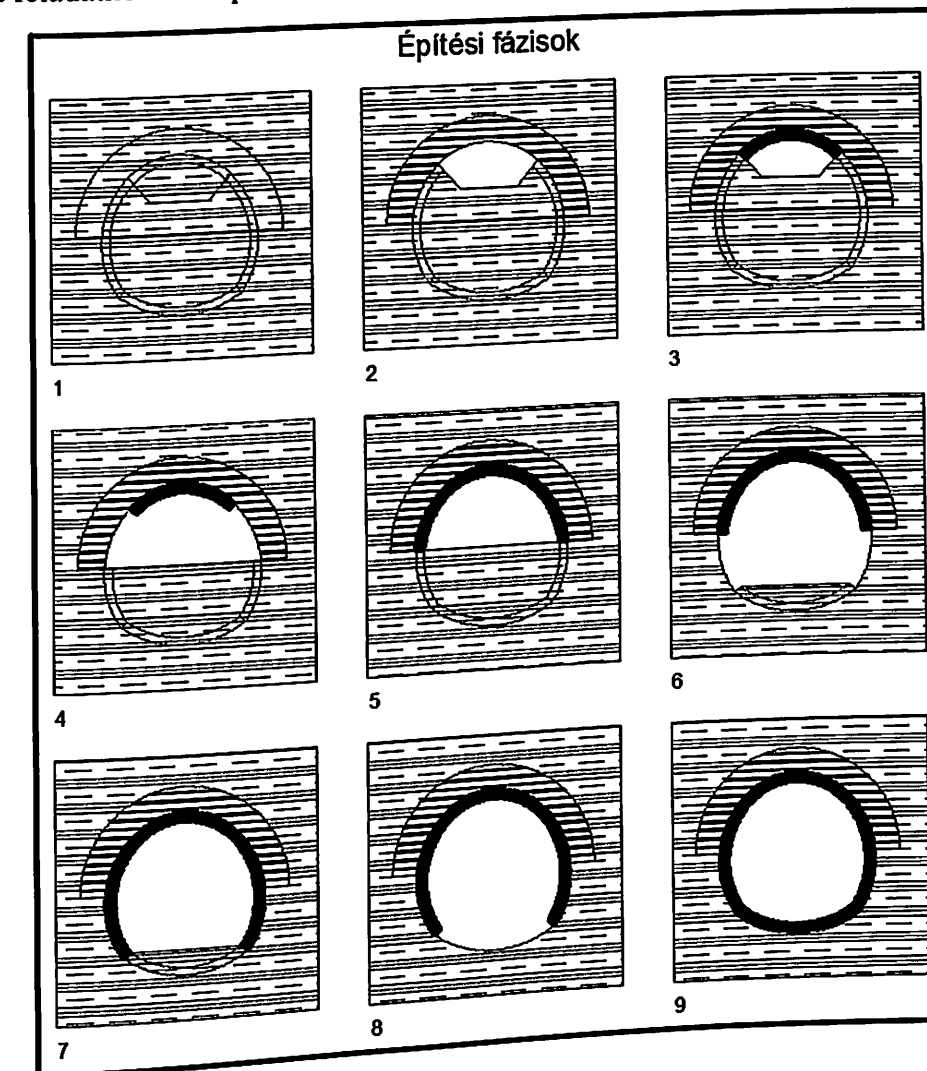


18. ábra Végeselem háló

Következő lépésben megadtam a talajadatokat és hozzárendeltem őket a megfelelő rétegekhez.

Talajfizikai paraméterek							
Talaj	E [Mpa]	ϕ [°]	c [kPa]	γ [kN/m ³]	γ_t [kN/m ³]	μ [-]	ψ [°]
homokos feltöltés	30	35	0	20	21	0,28	0
homokos kavics	80	35	0	19	20	0,25	0
homokos agyag	12	24	14	18,5	19	0,35	0
expandált oligocén	150	31	200	21	22	0,35	0
kevésbé expandált olig.	220	31	250	22	23	0,35	0
jetgrouting	10000	31	450	2,4	2,4	0,2	0

Az eddigi alapbeállítások a „Topo” fázisban történtek, a tényleges építési lépések modellezése új kivitelezési fázisok hozzáadásával érhető el. Ehhez 9 építési fázist adtam hozzá a feladathoz. Az építés fázisai a következő ábrán láthatók.



19. ábra Alagút Építési fázisai

Első lépésben, mivel az alagút beépített területen halad ezért 20 kN/m felszíni terhet adtam meg, 15 és 30 méter hosszúságban. Majd futtattam az előzőekben bemutatott számításokat.

Második lépésben készül el az 1 méter széles jetgrouting zóna, az eddigi hozzárendelést megváltoztattam a javított paraméterekre, így előállt a főtebiztosítás. A hozzárendelés mellett elvégeztem az első számú talajkiemelést. A talajkiemelés hozzárendelés mellett elvégeztem az első számú talajkiemelést. A talajkiemelés beállításánál megadtam egy úgynevezett „deaktivációs százalékot”. Ez az érték megadja, hogy az adott fázisban a kiemelt talaj környezetében létrejövő feszültségtrendeződések mekkora százalékban játszódjanak le. A Deaktivációt 80%-ban határoztam meg. Tehát a következő fázisban fog lejátszódni a maradék 20% expanszió.

A harmadik lépésben megtörténik a főte falazat beépítése, a falazatot a két végén csuklós beton anyagú rúdelemként numerikusan definiáltam. A falazat rugalmassági és nyírási modulusát a beépítési fázisban a végleges értékek felével vettem számításba, mert még vannak mozgások a földkiemelésből és a beépítéskor a falazat még csak kezdeti szilárdsággal rendelkezik. Ezzel az építési eljárással csökkenthető a talaj fellazulása illetve a süllyedés.

20. ábra Falazat numerikus megadása

Negyedik lépésben a falazat eléri a végleges szilárdsági paramétereit, változatlan keresztmetszet mellett a rugalmassági modulus 33000 Mpa, a nyírási modulus 13750 Mpa értékre módosul. Ezzel egy időben megtörténik a második számú földkiemelés melynél szintén 80%-os deaktivációt állítottam be.

A további fázisokban a földkiemelés, annak deaktivációja és a falazatbeépítés az előző fázisokkal teljesen megegyező lépésekben történik. Eltérés a rúdelemek egymás közti kapcsolatában van, az oldalfalazat 2 lépésben épül de közöttük a kapcsolat típusa merev, az összes többi esetben csuklós. A lépések végén zárul a falazat és kialakul a végleges szerkezet.

A számítás során minden lépés után lehetőségünk van a bekövetkezett alakváltozásokat, feszültség értékeket és a falazatban keletkezett igénybevételeket leellenőrizni.

A részletes számítási dokumentációt terjedelme miatt csak 1 vizsgált keresztmetszetre adom meg a mellékletben. A többi vizsgált keresztmetszetről csak a jellemző értékeket közlöm.

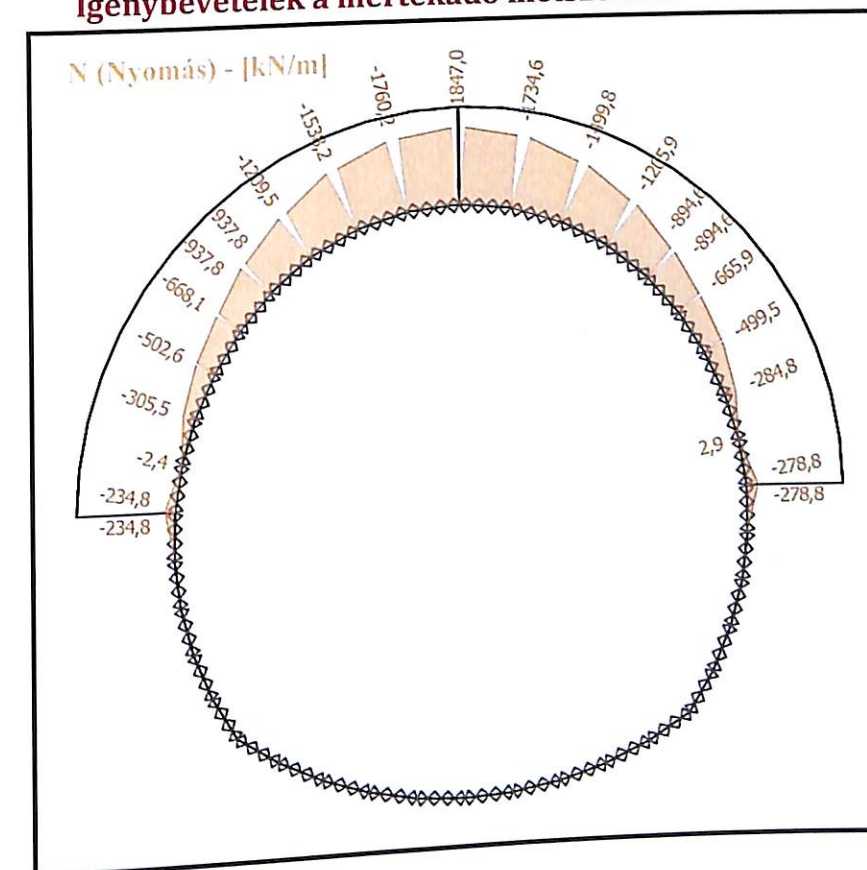
11.3. Alagút állékonysága

Az alagút állékonyságának ellenőrzésére a Geo 5 beépített stabilitás vizsgálatát használtam. A stabilitás vizsgálatokat a normál feszültségszámítás után fázisonként futtattam. Az ellenőrzést a DA-3* geotechnikai tervezési módszer szerint végeztem ϕ/c redukcióval. A program több lépcsőben csökkenti a talajfizikai paramétereket és újra meg újra megvizsgálja az állékonyságot. A paramétereket addig csökkenti ameddig a talaj beomlik vagyis bekövetkezik az állékonyságvesztés. A számítás végén kapunk egy biztonsági tényezőt, ez a vizsgálat eredménye. A lefuttatott számítások alapján minden fázisra teljesül, hogy ez a biztonsági tényező legalább 1,35 ami a falazat zárultával 4-5 körüli értékre emelkedik. Tehát elmondható, hogy várhatóan a teljes építés során megfelelő biztonságú a stabilitás.

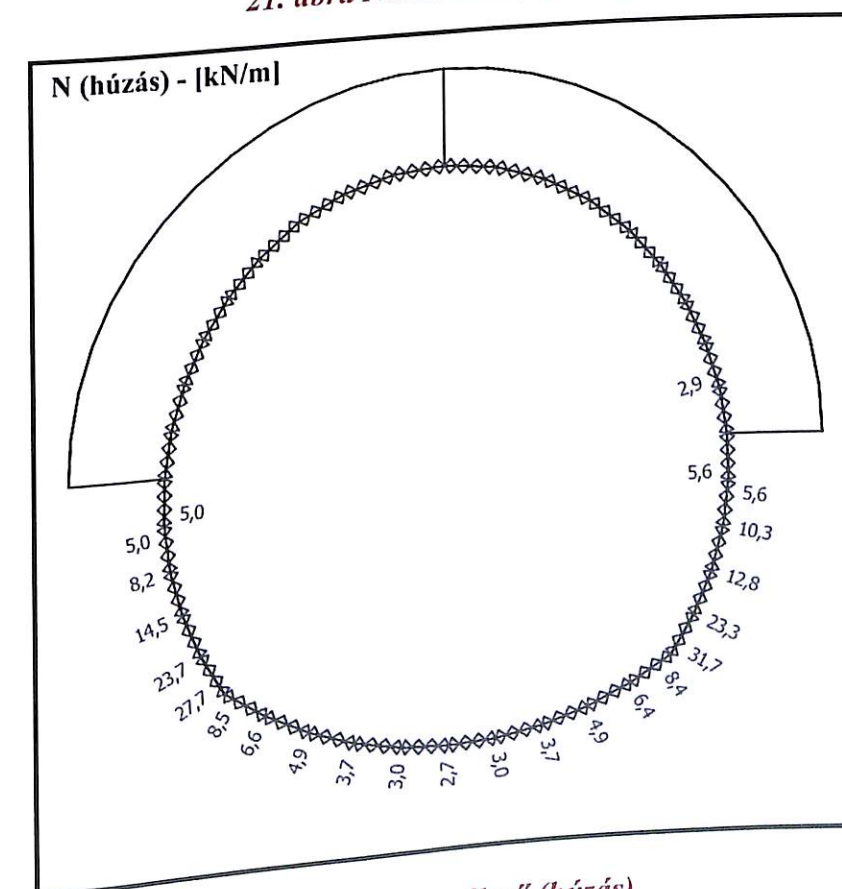
11.4. Mértékadó igénybevételek

A Geo 5 szoftverben 4 keresztmetszetben elvégzett számítás alapján a legmélyebben elhelyezkedő részen lesz a legnagyobb a falazat igénybevétele. Az igénybevételek karakterisztikus értékét ezen számítási modell szolgáltatja.

11.4.1. Igénybevételek a mértékadó metszetben



21. ábra Normálerő (nyomás)



22. ábra Normálerő (húzás)



23. ábra Nyíróerő



24. ábra Nyomaték

11.5. Falazat méretezése

11.5.1. Tervezési módszer

A falazatra ható erők tervezési értékének meghatározásához a DA-2* geotechnikai méretezési módszert használtam.

DA-2* tervezési állapot által használt parciális tényezőcsoportok

$$DA-2^* = A1 + M1 + R2$$

E tervezési módszer alapján a rúdelemek igénybevételének karakterisztikus értékét $\gamma_G = 1,35$ parciális tényezővel megszorozva megkaptam a tervezési értékeket. A falazat esetében az ellenállások tervezési értékeit az EC 2 MSZ En 1992-1-1:2010 vasbeton szerkezetek méretezése alapján határoztam meg.

$$A \text{ vizsgált feltétel: } E_d \leq R_d$$

A falazatot a Normál nyomóerő és nyomaték értékpárok alapján méreteztem. Méretezéshez az Eurocode 2 MSZ EN 1992-1-1:2010 szabványban található, téglalap alakú keresztmetszetekre alkalmazható egyszerűsített teherbírasi vonalat használtam. A teherbírasi vonal megmutatja hogy, adott keresztmetszetben a szerkezetre ható nyomóerő és forgatónyomaték értékpárnak ellenáll-e a szerkezet. Az egyszerűsített teherbírasi vonal a teherbírasi vonal görbéin belül helyezkedik, el, annak nem lineáris részeit, lineáris egyenessel közelíti a biztonság javára.

Az alagút vasalása két részből tevődik össze, egy kétoldali négyzetes hálós vasalásból, illetve egy előre gyártott acél mintaívből. A mintaív 1 méterenként kerül elhelyezésre, vagyis két oldalon 0,5-0,5 méter szélességű terhelő mező teherbírásában játszik szerepet. A megfelelő vasalás kiválasztásához feltételeztem egy mintaívet, és ehhez a mintaívhez kiválasztottam több hálós vasalást. Ezen vasalások teherbírasi vonalát egy koordináta-rendszerben ábrázoltam. Majd a koordináta-rendszerbe feltüntettem az igénybevételek tervezési értékének értékpárjait. A teherbírasi vonalak és az ábrázolt pontok helyzete alapján választottam ki az alkalmazott vasalást.

11.5.2. Betonminőség

A falazat betonjának nyomószilárdsági értékét a programban vizsgált betonhoz hasonlóan egy közepesen jó 30/37 nyomószilárdságú betonban határozom meg. Környezeti feltételi osztálya az EN 206 alapján XC4, karbonátosodás váltakozóan száraz illetve nedves tér. A beton bedolgozása során a visszahullott anyag jellemzően a nagyobb szemcsetartományból kerül ki, így ezek alkalmazása kerülendő. A visszahullás

minimalizálása érdekében a maximális szemnagyság 8mm. Mivel a falazat elkészítésekor a talajkörnyezetben bekövetkezett alakváltozások 20%-a még nem játszódtott le, fontos hogy a falazat a korai stádiumban is kellő szilárdságú legyen. A korai szilárdság érdekében kötésgyorsító szer használata elkerülhetetlen. A kötésgyorsító szer alkalmazása a száraz technológia miatt nem jelent nehézséget a betonlövő gépsor működtetésének ütemezésében. A tömörödést elősegítő szilikapor alkalmazása is javasolt, növeli a beton tömörségét és megnöveli az 1 ütemben felhordható réteg vastagságát.

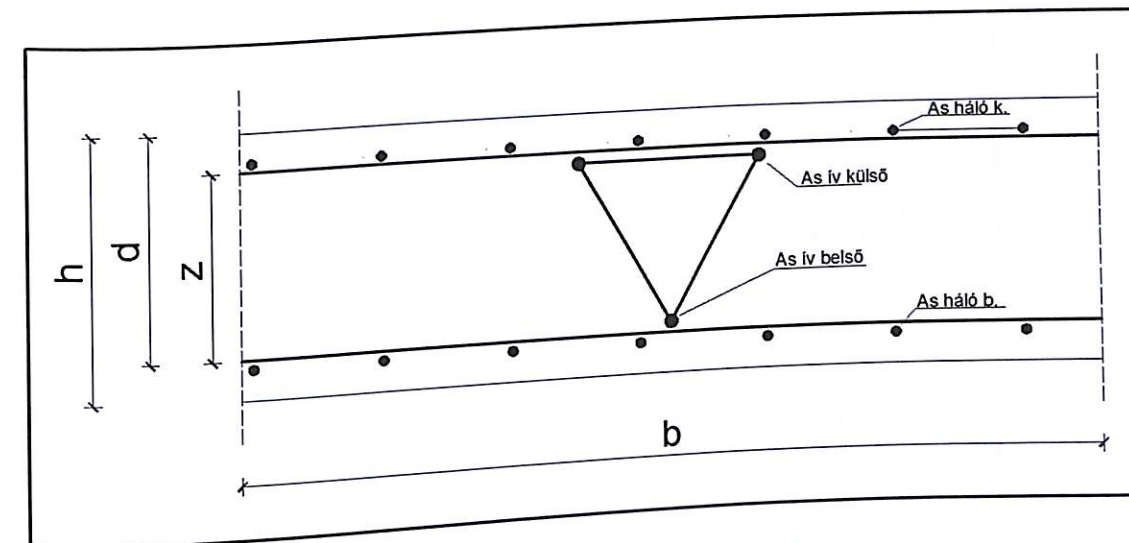
Betonösszetétel 1m ³ száraz lőttbeton keverékhez (Sika ajánlás)		
Cement:	280	[kg]
Adalékanyag:		
0-4mm	680	[kg]
4-8mm	560	[kg]
Szilikapor:	20	[kg]
Kötésgyorsító:	4-7	[cement %]
Várható visszahullás: 16-20%		
Bedolgozott keverék cementtartalma: 450-460 kg/m ³		

Betonminőséget a szilárdulás végéig folyamatosan ellenőrizni kell. A szilárdulás korai szakaszában rövidebb intervallumokban penetrométeres és szögbelövése vizsgálatokkal tudjuk ellenőrizni. Végzilárdulást a bedolgozás idejében készített szabványos mintakockán ellenőrizhetjük.

11.5.3. Vasalás számítása

A falazat keresztmetszetét ϕ 16 mintáiv vasátmérővel, és 4 féle hálós vasalással vizsgáltam. A vizsgált hálók kiválasztásánál praktikus okokból szempont volt, hogy a háló vasátmérője, és a kiosztás függőleges és vízszintes irányban is megegyező legyen. A jó vizsgálhatóság érdekében fontos volt, hogy a kiválasztott hálók keresztmetszeti területe széles tartományt fedjen le.

Vizsgált vasalások				
φ 16 minta ív	φ10 háló 100mm X 100mm	ΣA _s	2173,8	[mm ² /m]
φ 16 minta ív	φ10 háló 150mm X 150mm	ΣA _s	1650,2	[mm ² /m]
φ 16 minta ív	φ7 háló 100mm X 100mm	ΣA _s	1372,6	[mm ² /m]
φ 16 minta ív	φ7 háló 150mm X 150mm	ΣA _s	1116,2	[mm ² /m]



25. ábra Vasalt keresztmetszet

11.5.3.1. A teherbírési vonal meghatározása

Az egyszerűsített teherbírési vonal meghatározásához a vizsgált keresztmetszetről négy jellemző értéket kell kiszámolni. Ez a 4 jellemző érték, a keresztmetszet maximális normálerő teherbírása, a betonacélookban fellépő erőpár nyomatéka, a keresztmetszetben lévő beton x_{c0} -hoz tartozó normálerő teherbírása, és a keresztmetszet maximális nyomatéki ellenállása.

Teherbírési vonal pontjainak számításához szükséges összefüggések

$$N_u' = f_{cd} * b * h + A_s * f_{yd}$$

$$M_s \cong A_s * f_{yd} * z_s$$

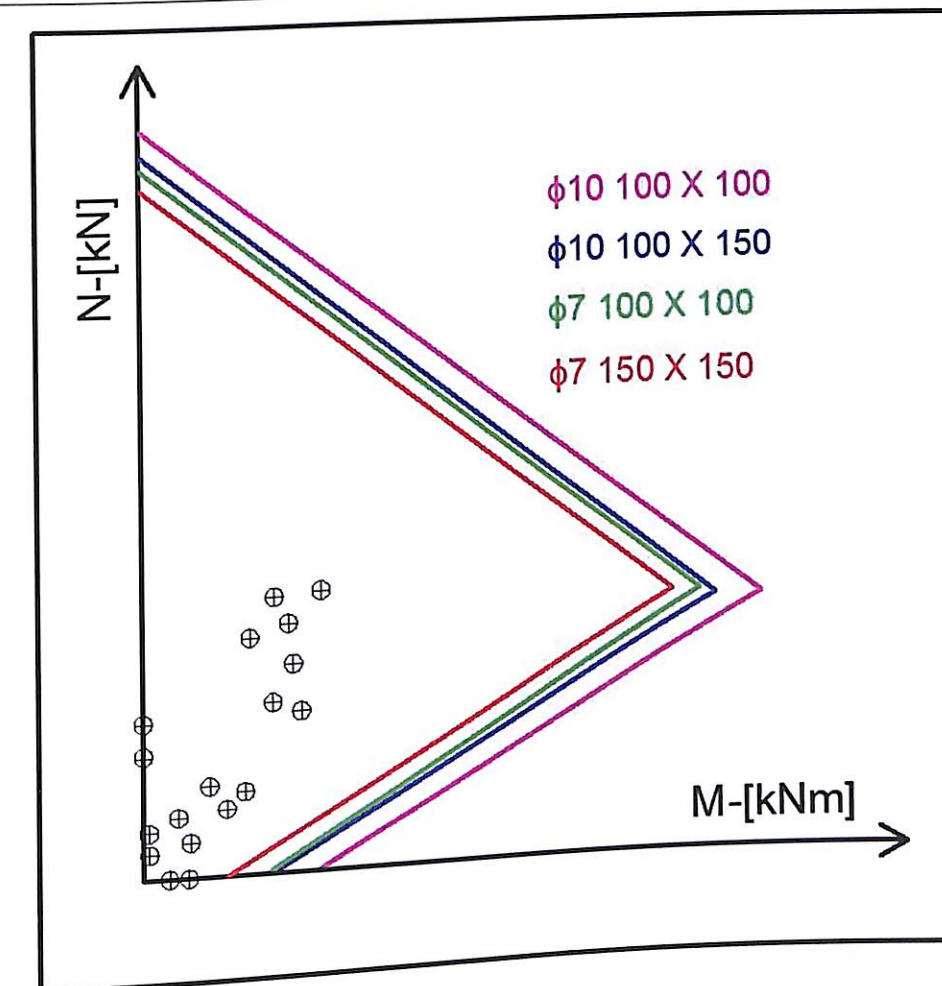
$$N_{bal} \cong f_{cd} * b * d_1 * \xi_{c0}$$

$$\Delta M \cong N_{bal} * \left(\frac{h}{2} - \frac{x_{c0}}{2} \right)$$

$$M_{Rd,max} \cong M_s + \Delta M$$

Teherbírési vonal számítása φ16 ív + φ10 háló 100mm X 100mm			
Beton	c30/37-XC4		
Acél	B500		
h [mm]	300		
b [mm]	1000		
f _{yd} [N/mm ²]	435		
f _{cd} [N/mm ²]	20		
A _{s ív k.} [mm ²]	402		
A _{s ív b.} [mm ²]	201		
A _{s háló k.} [mm ²]	785,4		
A _{s háló b.} [mm ²]	785,4	Teherbírési vonal pontjai	
φ ₁ [mm]	10		
φ ₂ [mm]	10	N' _u [kN]	6945,60
c [mm]	40	M _s [kNm]	81,53
ξ _{co}	0,49	N _{bal} [kN]	2401,00
d [mm]	245	ΔM [kNm]	216,03
z[mm]	190	M _{Rdmax} [kNm]	297,56

Vasalások számított teherbírési vonalainak pontjai			
φ16 ív + φ10 háló 100mm X 100mm		φ16 ív + φ10 háló 150mm X 150mm	
N' _u [kN]	6945,60	N' _u [kN]	6717,84
M _s [kNm]	81,53	M _s [kNm]	59,89
N _{bal} [kN]	2401,00	N _{bal} [kN]	2401,00
ΔM [kNm]	216,03	ΔM [kNm]	216,03
M _{Rdmax} [kNm]	297,56	M _{Rdmax} [kNm]	275,92
φ16 ív + φ7 háló 100mm X 100mm		φ16 ív + φ7 háló 150mm X 150mm	
N' _u [kN]	6597,08	N' _u [kN]	6485,55
M _s [kNm]	50,71	M _s [kNm]	39,61
N _{bal} [kN]	2445,10	N _{bal} [kN]	2445,10
ΔM [kNm]	217,30	ΔM [kNm]	217,30
M _{Rdmax} [kNm]	268,01	M _{Rdmax} [kNm]	256,91



26. ábra Vizsgált vasalások teherbírási vonalai

Az ábrán látszik, hogy az összes vasalás kielégíti a feltételeket. A teherbírási vonalak alapján látszik, hogy a keresztmetszet nyomatókkal szembeni ellenállásának jelentős részét a beton szolgáltatja, ami a jelentős méretek miatt érthető is. Ez a nyomatóki ellenállás a normálerő növekedése mellett áll rendelkezésre. Látható, hogy van néhány pont, ahol nincs normálerő, viszont nyomatók jelentkeznek, tehát szükség van a betonacélok által szolgáltatott nyomatóki ellenállásra, ezért a keresztmetszetet nem vizsgálom további gyengített vasalással, hanem az itt vizsgált $\phi 7 \ 150 \times 150$ -es hálós vasalást alkalmazom.

Alkalmazott keresztmetszeti vasalás

$\phi 16$ ív + $\phi 7 \ 150 \times 150$ hálós vasalás

Vasalás kialakítása a D-9 számú rajzon található.

11.5.3.2. Keresztmetszet vizsgálata nyírására

A nyíróerő tervezési érték maximuma az igénybevételi ábrák és táblázat alapján

90,18 kN/m

$$V_{Ed} = 90,18 \text{ kN/m}$$

Beton nyírási ellenállása

$$V_{Rdc} = c * b * d * f_{ctd}$$

c=tényező, dogozó magasság és betonminőség függvénye

c = 0,374 táblázatból interpolálással

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$d = 249,5 \text{ mm}$$

$$f_{ctd} = 1,4 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{Rdc} = 130,73 \text{ kN/m} \geq V_{Ed} = 90,18 \text{ kN/m} \rightarrow \text{A keresztmetszet nyírásra}$$

megfelel

11.6. Talajcsavarok

Az építési fázisok során a már elkészült falazatrészek az alsóbb talajrétegre támaszkodnak. A további földkiemelés során a támaszkodó felület alatt is eltávolításra kerül a talaj. Ezért, bár az üreg állékonysága nem indokolja, a falazatot talajcsavarokkal szükséges a környező talajhoz rögzíteni. A talajcsavarok stabilizáló hatását a számítás során nem vettem figyelembe. A talajcsavarok igénybevétele ideiglenes, a falazat zárulta után nincs szükség rájuk. A csavarokra kétféle erő hat a beépítés helyétől függően. A főteboltozat esetén normálerő, húzás keletkezik a falazat súlyerejéből. Az oldalboltozat esetén, ugyancsak a boltozat súlyereje hat a csavarokra de itt nyírás keletkezik bennük.

Első eset csavarok a főtében 1 méteres csavarosztást és S235 anyagminőséget feltételezve

$$l = 4,4 \text{ m}$$

$$v = 0,3 \text{ m}$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_G = 1,5 \text{ (DA-2* szerint)}$$

$$N_{Ed} = l * v * \gamma_{\text{beton}} * \gamma_G = 49,5 \text{ kN/m} = 49500 \text{ N/m}$$

$$f_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{sreq} = \frac{E_d}{f_{yd}} = 210,63 \text{ mm}^2$$

Második eset oldalfal, csavarokat nyíróerő terheli

$$l = 2,41\text{m}$$

$$v = 0,3\text{m}$$

$$\gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_G = 1,5 \text{ DA-2* szerint}$$

$$V_{Ed} = l * v * \gamma_{\text{beton}} * \gamma_G = 27,12 \text{ kN/m} = 27120 \text{ N/m}$$

$$f_{yd} = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Keresztmetszet nyírási ellenállása: } f_{yd}/\sqrt{3} = 235 \text{ N/mm}^2/\sqrt{3} = 135,67 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{sreq} = \frac{27120 \text{ N}}{135,67 \text{ N/mm}} = 199,89 \text{ mm}^2$$

Két keresztmetszet közül a nagyobb lesz a mértékadó. A talajcsavarokat a falazati elemek stabilitása miatt párosával kell beépíteni méterenként.

A forgalomban lévő közetcsavarok közül a DSI System Expansion Shell Bolts 16mm típusú közetcsavarját választottam. Ez a típus egy feszítőékes megoldású közetcsavar 16mm átmérőjű csavarszárral. A minimális számításba vehető szilárdsága 250 MPa. Közetcsavar hossza 400mm.

$$A_{sprov} = 2 * 201\text{mm}^2 = 402\text{mm}^2$$

11.7. Alagút végleges falazata

Az alagút végleges falazata egy belső löttbeton réteg felhordásával és a két réteg közé beépített vízszigeteléssel alakul ki. Bár az alagút vízzáró talajkörnyezetben halad, szükséges ellátni vízszigeteléssel.

Belső falazatnak speciális tulajdonságokkal kell rendelkeznie, ilyen szempont a könnyen tisztítható felület és a tűzzel szembeni viselkedés. Az előbbi egy simított felületképzéssel kialakítható.

A vasbeton szerkezetekben tűz hatására az adalékanyagban térfogat növekedés, a cementben pedig zsugorodás következik be. Az így kialakuló feszültségek és a beton mélyebb rétegeiből lökésszerűen felszabaduló vízgőz felületi leválásokat hoz létre. A leválások miatt megnőhet az acélbetétek hőterhelése mert csökken a betonfedés. Ezért szükséges a tartószerkezet tűzvédelme, amit a belső 10 centiméteres löttbeton réteg fog ellátni. Fontos hogy ez a belső réteg tűz esetén a lehető legtovább távol tartsa a hőt az alagúttól, ezért a tűzzel szemben a lehető legkedvezőbben kell viselkednie. Az általános eljárás szerint polipropilén szálakat kevernek a betonba melyek a tűz hatására kiégnek és helyet adnak a gyorsan távozó gőznek. A legújabb kutatások szerint a szálaknak nincs

hatása a tűzzel szembeni viselkedésre. A vizsgálatok szerint a beton hőtűrése elsősorban a cement fajlagos felületétől függ. Hő hatására a cementkő dehidratálódik és zsugorodik, és ha a cement fajlagos felülete kisebb akkor a dehidratáció is kisebb lesz vagyis csökkenek az alakváltozási repedések. Továbbá a kvarcliszt kiegészítő anyag adagolása is kedvezően hat. Ezért a belső réteg betonminősége legyen azonos a külső rétegével, azzal a megkötéssel hogy a felhasznált cement kis fajlagos felületű legyen. Betonminőség: C30/37-XC4-32-S2, Cement: Cem I. 32,5 RS

11.8. Süllyedések kialakulása az alagútépítés következtében

Az alagútépítés során elkerülhetetlen, hogy a fötte feletti talajtömeg süllyedést szenvedjen. Az üreg kibontásakor megzavarunk a talaj beállt egyensúlyi állapotát, ez feszültségátrendeződésekkel és mozgásokkal jár. Ennek oka, hogy a fejtés pillanatában nem lehetséges az azonnali megtámasztás, és mire a támaszok a helyükre kerülnek a mozgások egy része már lezajlik. A további feszültségeket is csak alakváltozás árán veszi fel a dúcolás. Egyes építési módoknál a falazat és a talaj között kisebb üregek maradhatnak vissza, ezeket az üregeket injektálni kell, az injektálás kötéseig a talaj továbbra is mozgásban van.

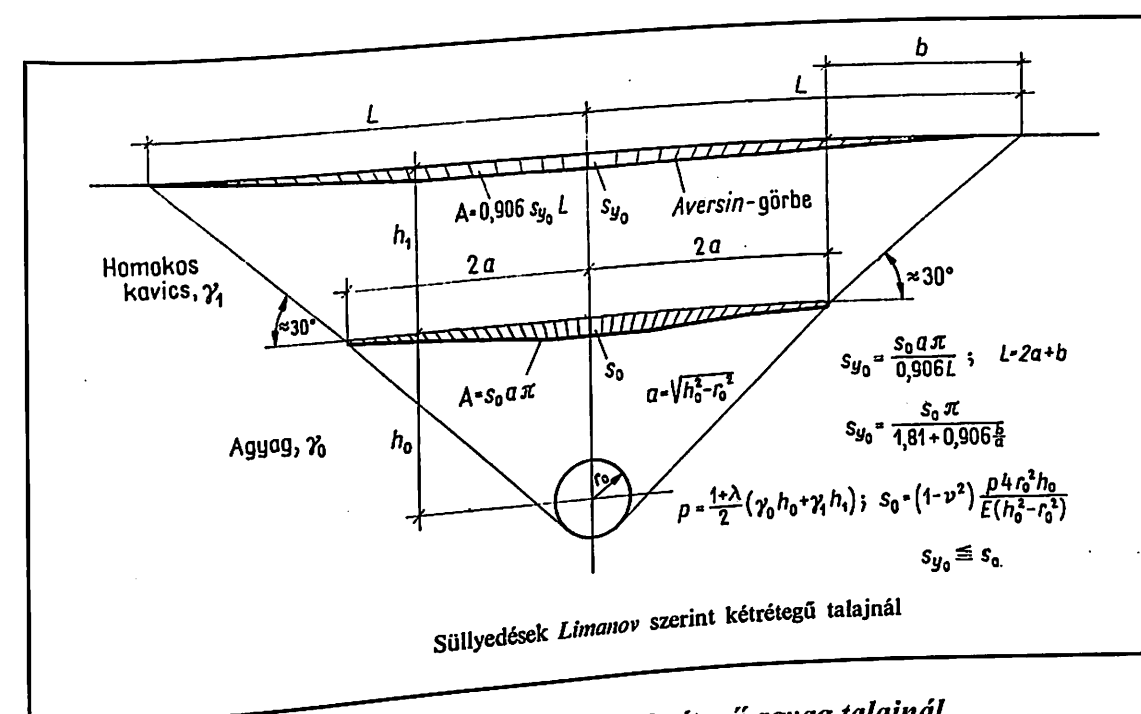
Süllyedés szempontjából meghatározó a homlokmegtámasztás. A homlokmegtámasztásos alagútfúró pajzsok esetén kisebb a süllyedés, mert a fejtési homlokon a pajzs folyamatosan erőt fejt ki a talajra. Az így megtámasztott talajtömeg nem tud oly mértékben expandálni mint megtámasztás nélkül. Hagyományos alagút építési módszernél a süllyedést csökkentheti a fötebiztosítás, a homlok több ütemben történő fejtése és a megtámasztás módja.

A süllyedések mértékét nagyban befolyásolja az adott talaj mechanikai tulajdonsága, a mozgásokkal szembeni ellenálló képessége. A süllyedés időbeni lejtésszódása főként a talajban lévő víz áramlásának ideje szabja meg. Míg nagyobb vízáteresztő képességű szemcsés talajokban szinte azonnal lejtésszódik a folyamat, addig a kötöttebb kohéziós talajban lényegesen több időre van szükség.

11.8.1. Limanov süllyedésszámítás

Ez a számítási módszer a tapasztalati eljárások közé tartozik. Ezek a módszerek egy adott talajkörnyezetben már megvalósult alagutak süllyedési értékeit használják fel a későbbi várható süllyedések meghatározására. A Limanov módszer a szentpétervári metróépítésnél volt használatos. Később a budapesti alagutak építésénél is alkalmazták. Ez a módszer főleg olyan talajoknál alkalmazható ahol az alagút agyag talajban halad és

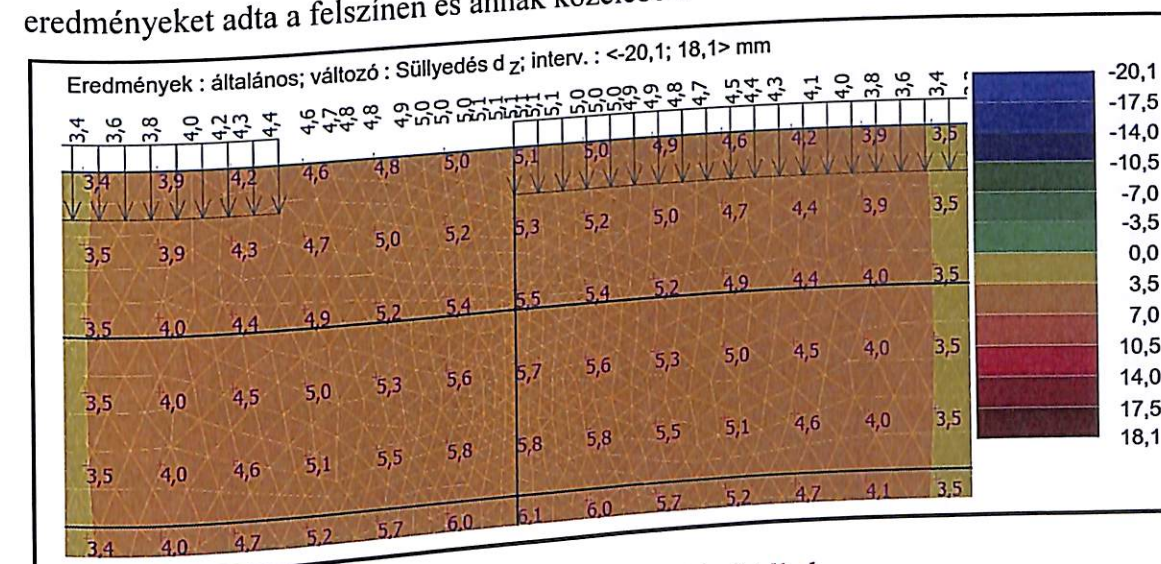
A számításokat a következő ábrán található összefüggések alapján az alagút legmélyebben fekvő részén végeztem el. Limanov módszerével csupán a maximális süllyedési értékeket számoltam ki.



27. ábra Limanov süllyedés kétrétegű agyag talajnál

Maximális süllyedés Limanov szerint					
h_1	15	[m]	$\lambda =$	0,66667	[-]
h_0	30	[m]	$p =$	812,5	[kN/m ²]
γ_1	21	[kN/m ³]	$a =$	29,8496	[m]
γ_0	22	[kN/m ³]	$S_0 =$	0,00184	[m]
μ	0,4	[-]	$S_{y0} =$	0,00222	[m]
r_0	3	[m]	$S_0 =$	1,83838	[mm]
E	150000	[kN/m ²]	$S_{y0} =$	2,22257	[mm]
b	25,98	[m]			

A süllyedéseket meghatároztam a végeleemes programban is, mely a következő eredményeket adta a felszínen és annak közelében.



28. ábra Geo5 süllyedés értékek

Látható, hogy a program által számított értékek az egyszerűsített kézi számítás értékeinek mintegy kétszeresére adódtak. Viszont nagyságrendileg azonosak és az abszolút eltérés is csak 2-3 mm. Mind a két számítás azt igazolja, hogy bár az alagút mélyen helyezkedik el, a felszíni mozgások kialakulnak és gyakorlatilag elkerülhetetlenek. Ezért a mozgásokat mindenképpen figyelemmel kell kísérni.

11.9. Mozgások nyomon követése.

Az alagút teljes élettartama alatt beleértve az építés idejét is, folyamatosan figyelemmel kell kísérni a talajkörnyezetben, és a már elkészült szerkezetekben bekövetkezett feszültség és alakváltozásokat. Az alakváltozások mérésénél fontos azok

relatív és abszolút nagysága, és időbeli változása. Ezeket a paramétereket összetett monitoring rendszerrel tudjuk nyomon követni.

11.9.1. Alakváltozás

Az építés során mindenképpen szükséges az alagút alakjának folyamatos konvergencia mérése. Ennél a módszernél az alagút belső falára fixen rögzítésre kerül egy automata optikai mérőállomás, ami meghatározott időnként méréseket végez a falazatban elhelyezett, rögzített prizmákon. A prizmák pillanatnyi helyzete rögzítésre kerül, és így nyomon követhető azok térbeli és időbeli elmozdulása. Egy mérőállomás csak a látóterébe eső prizmákat képes mérni így bizonyos távolságonként új mérőállomás beépítése szükséges.

11.9.1.1. Inclinométer

Inclinométeres alakváltozás méréssel függőleges vagy vízszintes alakváltozásokat mérhetünk az alagút környezetében. A módszer lényege, hogy a környező talajba beépítésre kerül egy hajlékony műanyag cső. Rugalmas csőre azért van szükség, mert egy merev cső nem tudja megfelelően követni a talaj vagy a szerkezet mozgását. A beépítés után közvetlenül végighúzzák a csőben az inclinométer műszer mozgását. A beépítés után közvetlenül végighúzzák a csőben az inclinométer műszer mozgását. A mérőműszer rugós kerekek segítségével tökéletesen leköveti a cső alakját, mérőfejét. A mérőműszer rugós kerekek segítségével tökéletesen leköveti a cső alakját, miközben a műszer belsejében lévő mérőegység érzékeli a fej vízszintes és függőleges irányhoz viszonyított pillanatnyi helyzetét. Az adott csőben elvégzett újabb vizsgálatok eredményeit összevetve kimutathatók a tendenciózus alakváltozások.

11.9.1.2. Extenzométer

Az extenzométeres vizsgálattal az alagút két pontja közötti elmozdulást tudjuk mérni. A mérés során kőzetcsavarokat helyezünk el a vizsgált helyeken a falazatba. Ezeket a csavarokat a mérőműszer közbeiktatásával összekötjük egy speciális extenzométer rúddal. Így ha valamelyik vagy akár mindkét pont elmozdul akkor változik a távolság a két pont között, és mivel a műszer be van építve az összeköttetésbe, a mozgás változást okoz a leolvasásban. Extenzométer építhetünk fúrólukba is. erre akkor lehet szükség ha a fejtési homlok mozgásait akarjuk megvizsgálni. Ebben az esetben az extenzométer rúdja vagy huzalja a fúróluk két végét köti össze. Ilyenkor a műszer a lyuk hosszúságában bekövetkezett változásokat méri. Ezzel a módszerrel ellenőrizhetjük a homloklazulások mértékét.

11.9.1.3. Feszültségmérés

Az eddig bemutatott módszerekkel alakváltozást mérhetünk és abból közvetve tudunk következtetni az igénybevételek nagyságára. Ha pontosan szeretnénk tudni mekkora feszültségek ébrednek a falazatban, vagy a kőzetben akkor előre, még a löttbeton készítése előtt a kritikus helyekre nyomásmérő cellákat helyezhetünk el. Az elhelyezett cellákkal elhelyezésüktől függően a beton és a betonacél feszültségét akár külön-külön is mérhetjük. A cellák elhelyezésénél fontos azok pontos elhelyezése, hogy a számunkra megfelelő irányú feszültségeket mérjék.

11.9.1.4. Épületek mozgása

Az alagutak sokszor haladnak beépített terület alatt, ilyenkor szükséges felszíni méréseket is eszközölni. A felszíni mozgásoknak elsősorban a felszíni épületek esetében van jelentőségük. A veszélyt nem is igazából a süllyedés abszolút nagysága jelenti, hanem ha az épület különböző pontja különböző mértékben süllyednek meg. Ilyenkor olyan épületrészeken keletkeznek többlet igénybevételek amelyeket valószínűleg nem az ilyenkor fellépő hatásokra méreteztek. Az kialakult süllyedéskülönbségek hatására az épület megdől a süllyedés irányába, ezért az épület ilyenfajta mozgását épületre szerelhető dőlésmérő szenzorokkal mérhetjük. A szenzorokat célszerű az épület több oldalára is elhelyezni. Ezekből a műszerekből vezetékek nélküli hálózat építhető, és egy rendszeren belül kezelhető az összes eszköz.

A dőlésmérők mellett végezhetünk geodéziai felmérést is. Ilyenkor az épület jellemző pontjainak helyét rögzítik az alagútépítés előtt, majd amikor az alagút elkészült újra felméri a pontokat. A felszín alatti méréshez hasonlóan ebben az esetben is elhelyezhetünk automata mérőállomást amely nagyban megkönnyíti az adatgyűjtést.

11.10. Alagút hatása a már meglévő alagutakra.

11.10.1. Vizsgált esetek

Az eddigi számítások során csak az épülő alagutat vizsgáltam, de az üzemi alagút építése hatással van a már meglévő alagutakra is. A Deák téren M2 és M3 metró alagútjaihoz kerül közel míg a Kálvin téren a négyeshez. Értelemszerűen három esetet vizsgáltam.

Első esetben az alagút az M4 metróval megegyező magasságban van és a falazatok távolsága 5 méter. Azért 5 méter mert feltehetően az elkészülő kicsatlakozási műtárgy ekkora távolságra lesz az alagúttól.

Második esetben, az alagút egy szinten van a kettes metróval és a falazatok vízszintes távolsága 5 méter. A meglévő trombitaműtárgy ekkora távolságra van az alagúttól. Harmadik esetről az alagút 17 méterrel van az M3 metró alatt és a vízszintes távolság 5 méter. A vizsgált esetekről készült kereszttszelvény a D-10 számú rajzon található. A vizsgálatokat a már meglévő modellekben hajtottam végre. A modelleket úgy állítottam be hogy, az üzemi alagút földkiemelései megkezdése előtt a már meglévő alagutak elkészültek, az általuk kialakult változások lezajlottak. A földkiemelések megkezdése előtt több jellemző értéket rögzítettem, majd a második alagút elkészülte után ugyanezeket az értékeket újra megvizsgáltam, a két adathalmaz különbsége adja a bekövetkezett változásokat. A sok adat közül vizsgáltam az alagút falazatában bekövetkező merőleges alakváltozásokat, és az alakváltozások hatására kialakuló igénybevételeket. Az igénybevételek közül a maximum értékek változását gyűjtöttem ki. A számítás eredményeit a következő táblázat tartalmazza. A táblázatban a „0” indexel ellátott értékek jelentik a kiindulási értékeket.

Az építés hatására bekövetkezett változások a már meglévő alagutakban								
Vizsgált esetek	D ₀ [mm]	D [mm]	M _{0max} [kNm]	M _{max} [kNm]	N _{0max} [kN]	N _{max} [kN]	Q _{0max} [kN]	Q _{max} [kN]
1. 4-es metró	0	0,8	237	240	1657	1700	214	218
Δ	0,8		3		43		4	
Δ[%]	-		1,27		2,60		1,87	
2. 2-es metró	0	3,2	218	230	3437	3879	134	142
Δ	3,2		12		442		8	
Δ[%]	-		5,50		12,86		5,97	
3. 3-as metró	0	5	156	160	1813	1840	98	103
Δ	-		4		27		5	
Δ[%]	5,00		2,56		1,49		5,10	

11.10.2. Számítások értékelése

A lefuttatott vizsgálatok alapján, elmondható hogy az alagút építésének ,a közelség és a mélység miatt nagy hatása lehet a kettes metró alagútjára. A nyomóerő abszolút értékben és százalékosan is jelentős mértékben megnőtt. Megfigyelhető, hogy bár a 4-es vonal alagútja is hasonló közelségben halad el, ebben az esetben a növekmények elmaradnak az M2 vonalnál számoltaktól. Ennek oka az alagutak felszínhez közelebbi elhelyezkedése ahol kisebb a földnyomás, és a változásoknak kisebb a hatása.

A falazat merőleges elmozdulása a hármas esetben volt a legnagyobb, 5 milliméter. Érdekes, hogy az első esethez viszonyítva sem nőtt meg jelentősen az igénybevétel. Ez azért lehetséges mert ebben az esetben az alagút egész keresztmetszete azonos süllyedési zónába esik, és az alagút egésze mozdul el. A másik két esetben a süllyedések az üzemi alagúthoz közelebb eső falazatrészen jóval nagyobbak mint a távolabb eső részen, így kevésbé mozog együtt a szerkezet és már kis mozgás hatására növekmények alakulnak ki. Ezek az igénybevétel növekmények mérsékelhetők ha az építés során az alagút környezetében talajerősítést alkalmazunk. Ez a talajerősítés lehet végleges vagy ideiglenes is.

12. Összefoglalás

Dolgozat célja az alagútépítés bemutatása, és az M2-es metró az M4-el összekötő üzemi alagút falazatának méretezése volt. A előre eltervezett munkarészek megvalósultak.

Dolgozatban bemutattam a tágabb terület, Budapest földrajzi, geológiai adottságait. Röviden ismertettem az alagútépítés technológiai történelmének néhány jelentős eredményét. Részletesen ismertettem a hazai metróhálózatot és az alagútépítési módszereket.

A tervezési rész geotechnikai kiindulási alapját az üzemi alagút tervezett nyomvonaláról 1978-ban készült földtani szakvélemény. A földtani szakvélemény részletes tanulmányozása után a rendelkezésre álló földtani szelvényből elkészítettem a geotechnikai szelvényt. A geotechnikai szelvény elkészültét követően megvizsgáltam 3 lehetséges nyomvonalat, melyek közül az eredeti elképzeléshez közel álló változatot használtam. A kiválasztott nyomvonalat beleilleszttem a geotechnikai szelvénybe. Az így kialakult hossz-szelvényen kiválasztottam a jellemző kereszt-szelvényeket, amikben magát az alagutat és a rá ható erőket vizsgáltam.

Az előzetes tervekben nem szerepelt az alagút építési módszer kiválasztása így a lehetséges módszerek közül az Új Osztrák Alagútépítési Módszert választottam. A vasúti űrszelvény és az építési módszer ismeretében kialakítottam az alagút keresztmetszetét. Laborvizsgálatok és talajfizikai paraméterek nem álltak rendelkezésemre ezért több kutatást és vizsgálatot tanulmányoztam, melyek a kiscelli agyag paramétereivel foglalkoznak. Az alkalmazott paramétereket a tanulmányozott irodalmak alapján vettem fel. Ezután kézi és végelelemes számítással megvizsgáltam az alagútra ható földnyomásokat. Az alagútépítés teljes folyamatának méretezéséhez Geo5 programot használtam. A programban az általam kialakított szelvényt egy jet-groutingos főtebiztosítás védelem mellett vizsgáltam. A földkiemelés 4 fázisban készül el, az adott kiemelési fázis után 80%-os deaktivációt követően kerül beépítésre a falazat. Ekkor a falazat a szilárdsága mintegy fele a végleges értékeknek. A maradék deaktivációnak már némileg ellenáll. Deaktiváció lezajlása után eléri a végleges szilárdságot a falazat, elkészül az adott rész. A teljes szelvény az előző lépések ismétlődésével alakul ki. A lefutott számítások alapján a legnagyobb igénybevételre méreteztem a falazatot. A mintaíves, kétoldali hálós vasalással ellátott keresztmetszetet teherbírási vonallal méreteztem.

A szerkezeti kialakítások után vizsgáltam az építés hatására kialakuló felszínsüllyedéseket . A süllyedést meghatároztam kézi közelítő módszerrel illetve végeselemes számítással.

Mivel az alagút meglévő alagutakat kapcsol össze elkerülhetetlen, hogy az építés valamilyen hatást gyakoroljon ezekre a szerkezetekre. Végeselemes programban meghatároztam az M2, M3 és M4 alagútjában a várható igénybevételek maximumának növekedését. Mely növekedések az alagutak többszörösüllyedéséből alakulnak ki. A feladat végén javaslatot adtam az építés közbeni szükséges monitoring rendszer kiépítésére.

13. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet mondok konzulensemnek, Dr. Horváth-Kálmán Eszternek, a dolgozat készítése során nyújtott segítségért, hogy a felmerülő problémák megoldásában bármikor készséggel rendelkezésre állt.

Köszönöm külső konzulensemnek, Dr. Horváth Tibornak, a rendelkezésemre bocsájtott szakirodalmat, a hasznos és előremozdító szakmai tanácsokat.

Köszönöm mindazoknak a munkáját, akik valamilyen formában segítettek munkámat.

14. Felhasznált irodalom

- [1] Földtani szakvélemény budapesti metró tervezett Dimitrov Tér – Deák Téri üzemi alagút szakaszáról I. kötet szöveges rész,- Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat, Budapest 1978. szeptember
- [2] Metró Kézikönyv- Főszerkesztő: Dr. Ábrahám Kálmán, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982
- [3] Alagútépítési Füzetek 1. kötet- Fordította: Dr. Horváth Tibor, Magyar Alagútépítő Egyesület, 2010
- [4] Alagútépítési Füzetek 3. kötet- Fordította: Dr. Horváth Kálmán Eszter, Magyar Alagútépítő Egyesület, 2013
- [5] www.metros.hu
- [6] Lövelltbetonos Alagútépítés Előadás, Grabarits József, 2007
- [7] Alagútépítés Egyetemközi Jegyzet (HEFOP), Budapesti Műszaki És Gazdaságtudományi Egyetem Geotechnikai Tanszék, 2007. október 22.
- [8] Nyugalmi feszültségállapot meghatározása a túlkonszolidált kiscelli agyagban- Dr. Horváth Kálmán Eszter, Budapest, 2012. május
- [9] A kiscelli agyag szilárdságtani vizsgálata rugalmas és rugalmastörés utáni állapotban – Túróczi Gábor, Mélyépítéstudományi szemle, 35. évf. 5. sz./1985
- [10] A tervezett Budapest 4 sz. metróvonal mentén végzett földtani vizsgálatok- Horváth Tibor- Fáy Miklós- Sándor Csaba, Földtani Kutatás XXXVII. Évfolyam 2. szám
- [11] Budai eocén és oligocén korú agyagtartalmú kőzetek mérnökgeológiai értékelése- Dr. Görög Péter, Budapest 2008.
- [12] Budapesti talajvízkutak idősorainak hidrológiai elemzése-Szabó-Mészáros Marcell, Budapest 2010.
- [13] Alagútfalazatok méretezési módszerei II. Kontinuum modellek- Czap Zoltán, Budapesti Műszaki És Gazdaságtudományi Egyetem Geotechnikai Tanszék
- [14] Az alagútfejtés okozta felszínüllyedések számítási módszereinek értékelése a budapesti 4. számú metróalagutak építése során mért felszínmozgások tükrében- Szepesházi Attila, Budapesti Műszaki És Gazdaságtudományi Egyetem
- [15] Numerical modelling of tunnel excavation using the NATM method, Engineering manuals for GEO5 programs-Part 3, www.finesoftware.eu

- [16] Geotechnikai monitoring alkalmazása és annak tanulságai a budapesti 4 metró löttbetonos alagútépítésénél- Dr. Horváth Tibor, Geovil Kft, Szentendre 2011. szeptember.22.
- [17] Sika Löttbeton Rendszerek, Technológia és koncepció kiadvány
- [18] DSI System, <https://www.dsiminingproducts.com/dsi-australia-mining-rock-bolts-roof-bolts-resin-anchoring/products/rock-bolts/solid-bar/expansion-shell-bolt-with-forged-integral-head-16mm.html>
- [19] www.herrenknecht.com
- [20] www.bkk.hu
- [21] Betonösszetevők hatása az alagútfalazatok hőtűrésére, Fehérvári Sándor, Budapest 2009. április

Ábrajegyzék

1. ábra Budapest domborzata.....	6
2. ábra Brunel pajzsa a Temze alatt	17
3. Robbins pajzs.....	18
4. ábra Belga építési módszer	20
5. ábra Német építési módszer	21
6. ábra Budapest felszínközeli földtani térképe	30
7. ábra V. Kerületi talajvízkutak vízállás diagram.....	35
8. ábra Vasúti űrszelvény	36
9. ábra Lehetséges alagút	37
10. ábra Alkalmazott szelvény	37
11. ábra Terzaghi közetnyomás elmélet	39
12. ábra Protodjakonov közetnyomás.....	40
13. ábra Földnyomás Geo5 szoftverben	41
14. ábra Coulomb egyenes.....	42
15. ábra Mohr-Coulomb anyagmodell.....	43
16. ábra Számítás beállításai	47
17. ábra Modelltér lehatárolás	47
18. ábra Végeelem háló	48
19. ábra Alagút Építési fázisai	49
20. ábra Falazat numerikus megadása	50
21. ábra Normálerő (nyomás)	52
22. ábra Normálerő (húzás)	52
23. ábra Nyíróerő	53
24. ábra Nyomaték	53
25. ábra Vasalt keresztmetszet.....	56
26. ábra Vizsgált vasalások teherbírási vonalai	58
27. ábra Limanov süllyedés kétrétegű agyag talajnál	62
28. ábra Geo5 süllyedés értékek	63

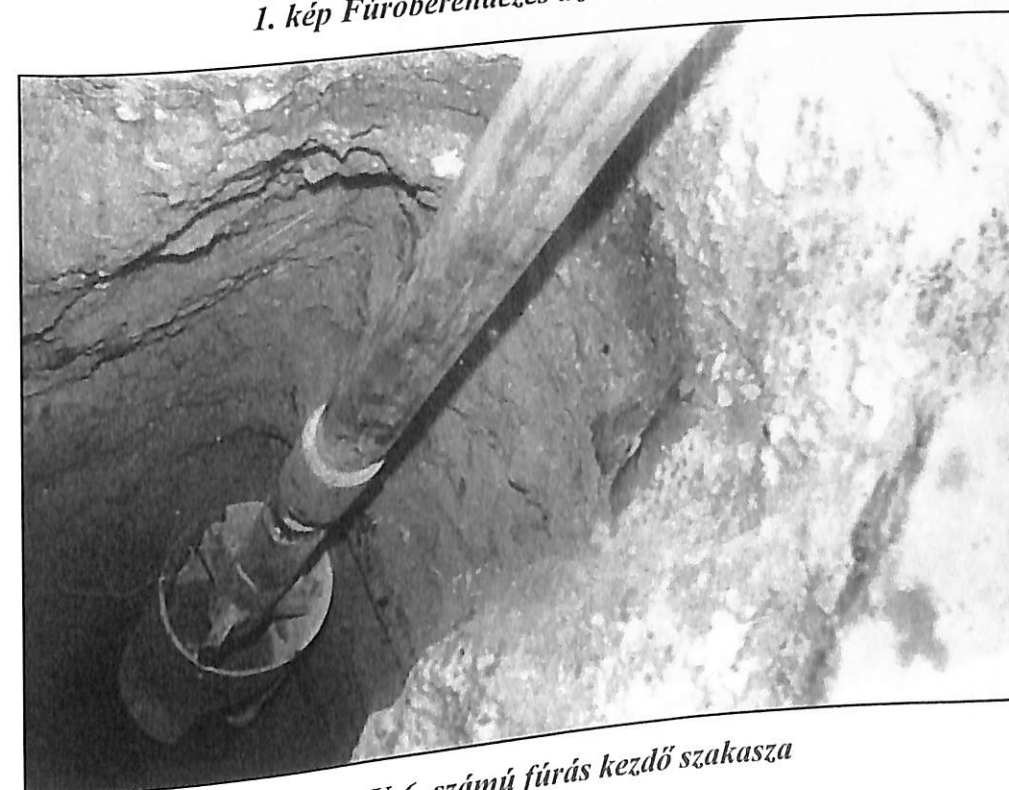
Kapcsolódó rajzi mellékletek

Átnézeti helyszínrajz	M= 1:2000	
Helyszínrajz	M=1:1000	
Földtani hossz-szelvény	Mv=1:1000,	Mh=1:200
Geotechnikai hossz-szelvény	Mv=1:1000,	Mh=1:200
Számítás során vizsgált kereszt-szelvények	M=1:200	
Falazat kialakítás keresztmetszet	M=1:20	
Talajcsavar	M=1:2	
Alagút vasalás	M=1:10	
Üzemi és meglévő alagutak viszonya kereszt-szelvény	M=1:200	

Képi melléklet



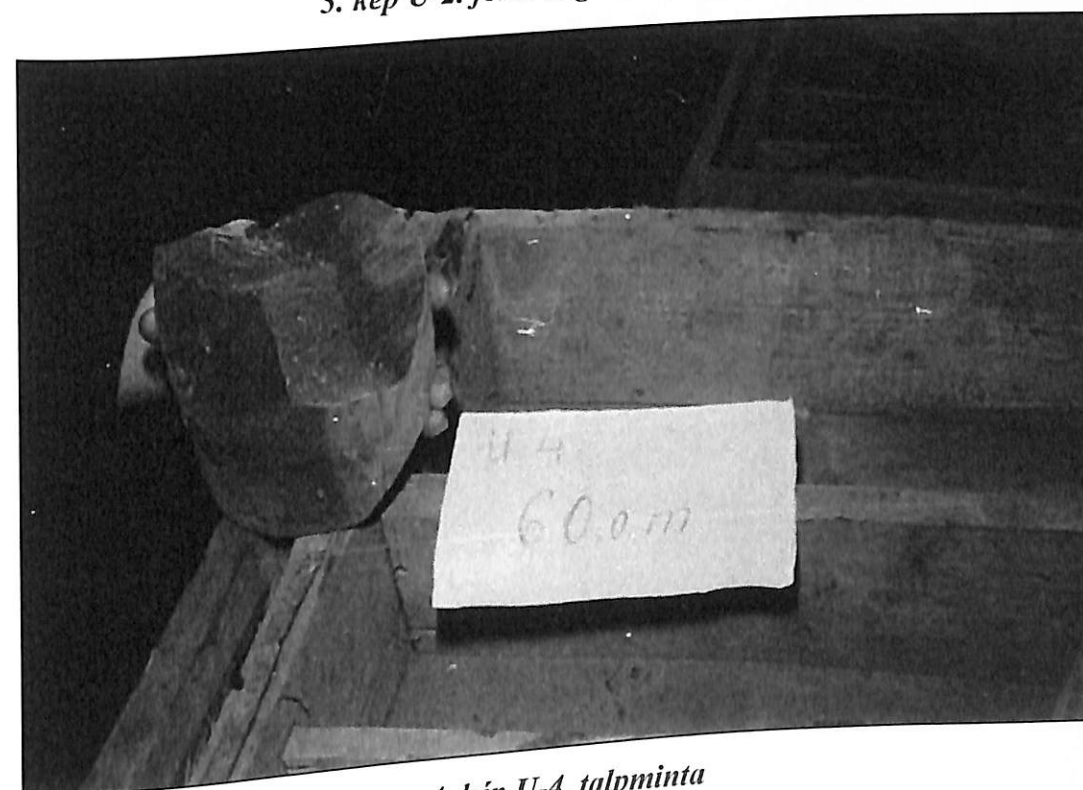
1. kép Fúróberendezés az U-3. fúróponton



2. kép U-6. számú fúrás kezdő szakasza



3. kép U-2. felső oligocén maganyag



4. kép U-4. talpminta

Számítási melléklet

A számítási melléklet az általam vizsgált 4 keresztshelvényben végzett végeselemes számításokat tartalmazza. A shelvénnyek közül az igénybevételek karakterisztikus értékét szolgáltató 13+15,23 shelvénny számítása szerepel részletesen. A többi shelvénny számítási dokumentációja csak a főbb értékeket és az állékonyságvizsgálatok eredményét tartalmazza.

Számítás végeselem módszerrel

Topológia

Projekt

Munka : M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
Rész : Vizsgált szelvény 00+38,39
Dátum : 2015.05.05.

Globális beállítások

Projekt típusa : Síkbeli alakv.
Számítás típusa : Feszültség
Alagutak : igen
Bővített adatbevitel : nem
Részletes eredmények : nem
Beton szerkezetek : EN 1992-1-1 (EC2)

Felület

Sz.	Felület helye	Felület pontjainak koordinátái [m]			
		x	z	x	z
1		0,10	55,35	90,00	55,35
2		0,10	47,12	90,00	47,12
3		0,10	41,31	90,00	41,31
4		0,10	35,37	90,00	35,37
5		0,10	0,00	90,00	0,00

Talajparaméterek

Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,25$
Rug. modulus : $E = 20,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 35,50^\circ$
Talaj kohézió : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Jól osztályozott homok (SW), tömör

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,28$
Rug. modulus : $E = 30,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 35,00^\circ$
Talaj kohézió : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Homokos agyag (CS), konzisztencia kemény

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Nem üzleti célú felhasználásra



Poisson tényező :
Rug. modulus :
Belső súrlódási szög :
Talaj kohézió :
Delta szög :
Telített térfogatsúly :

$\nu = 0,35$
 $E = 24,00 \text{ MPa}$
 $\varphi_{ef} = 24,50^\circ$
 $c_{ef} = 30,00 \text{ kPa}$
 $\psi = 0,00^\circ$
 $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

közepes oligocén
Anyagmodell :
Térfogatsúly :
Poisson tényező :
Rug. modulus :
Belső súrlódási szög :
Talaj kohézió :
Delta szög :
Telített térfogatsúly :

Mohr - Coulomb
 $\gamma = 22,00 \text{ kN/m}^3$
 $\nu = 0,35$
 $E = 150,00 \text{ MPa}$
 $\varphi_{ef} = 31,00^\circ$
 $c_{ef} = 200,00 \text{ kPa}$
 $\psi = 0,00^\circ$
 $\gamma_{sat} = 22,00 \text{ kN/m}^3$

jetgrouting
Anyagmodell :
Térfogatsúly :
Poisson tényező :
Rug. modulus :
Belső súrlódási szög :
Talaj kohézió :
Delta szög :
Telített térfogatsúly :

Mohr - Coulomb
 $\gamma = 24,00 \text{ kN/m}^3$
 $\nu = 0,20$
 $E = 10000,00 \text{ MPa}$
 $\varphi_{ef} = 31,00^\circ$
 $c_{ef} = 300,00 \text{ kPa}$
 $\psi = 0,00^\circ$
 $\gamma_{sat} = 24,00 \text{ kN/m}^3$

Vonalak sűrítése		Sugár r [m]	Hossz l [m]
Sz.	Hely		
		15,00	0,50
1	17 sz. szabad vonal	1,00	0,50
2	1 sz. szabad vonal	1,00	0,50
3	2 sz. szabad vonal	1,00	0,50
4	3 sz. szabad vonal	1,00	0,50
5	4 sz. szabad vonal	1,00	0,50
6	10 sz. szabad vonal	1,00	0,50
7	11 sz. szabad vonal	1,00	0,50
8	16 sz. szabad vonal		

Hálógenerálás

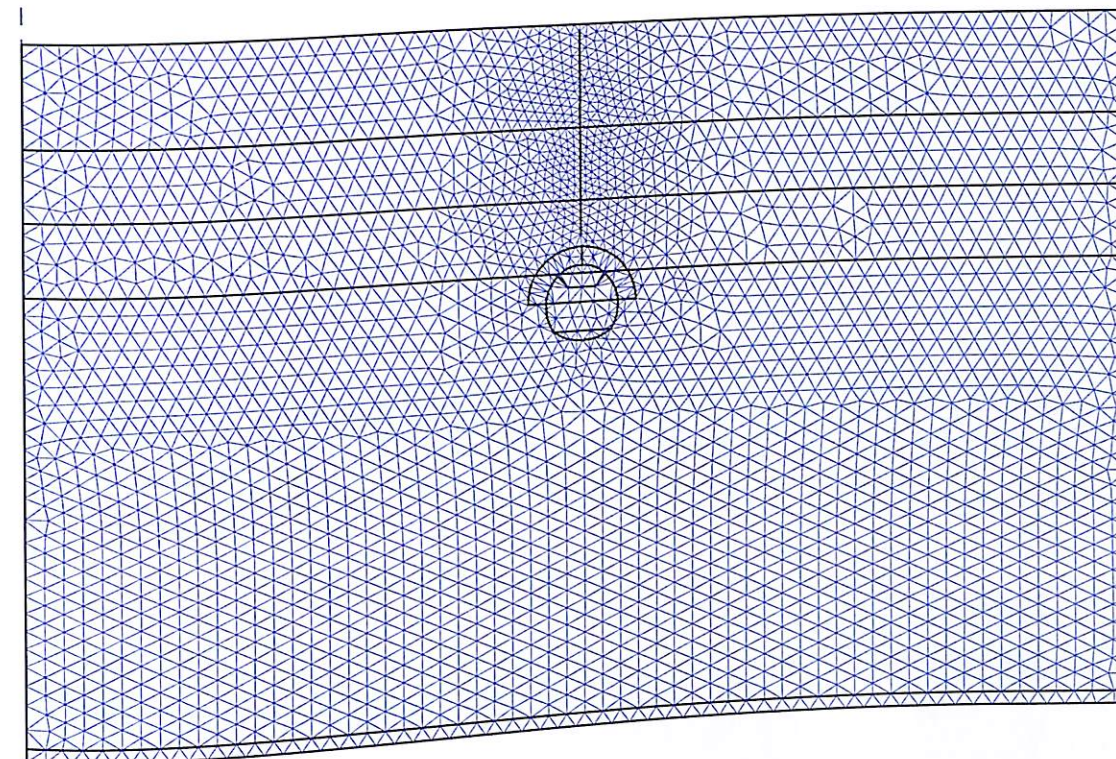
Hálógenerálás paraméterei
Élhossz :
Hálósűrítés :
Többcsomópontú elemek generálása :

1,50 [m]
igen
igen

Hálógenerálás eredménye
A végeelemháló sikeresen elkészült.
Csomópontok száma 14125

Nem üzleti célú felhasználásra

Elemek száma 8117 (régio 5729, rúd 597, felület 1791)



Adatbevitel (Kivitelezési fázis 1)

Teher									
Sz.	Típus	Hely / 1. Pont z [m] / x ₁ [m]	Origó / 1. Pont x [m] / z ₁ [m]	Hossz / 2. Pont l [m] / x ₂ [m]	Szél. / 2. Pont b [m] / z ₂ [m]	Lejtés α [°]	Intenzitás		
							q, q ₁ , f, F	q ₂	egység
1	sáv	terepen	x = 20,00	l = 15,00		0,00	20,00		kN/m ²
2	sáv	terepen	x = 45,00	l = 30,00		0,00	20,00		kN/m ²

Terhek		Név
Sz.		
1	ház	
2	ház 2	

Számítás beállításai
Általános
Módszer :
Merevségi mátrix megvált. :
Iterációk maximális száma egy számítási lépésben :

Newton - Raphson
minden iteráció után
100

Kezdeti számítási lépés :	0,25
Elmozdulási hibahatár :	0,0100
Kiegyensúlyozatlan erők hibahatára :	0,0100
Energia hibahatár :	0,0100
Anyag határfelületeinek figy. vétele :	nem
Newton - Raphson	2
Számítási lépés relaxációs tényezője :	2
Számítási lépés maximális relaxációinak száma :	1
Egy szám. lépés min. iterációinak száma :	
Vonal keresés	iteráció nélkül
Számítási módszer :	0,100
Vonalkeresési korlát - minimum :	1,000
Vonalkeresési korlát - maximum :	
Plaszticitás	0,00100
Hozzárend. hibák jelzése :	20
Iterációk max. száma egy plaszt. lépéshez :	

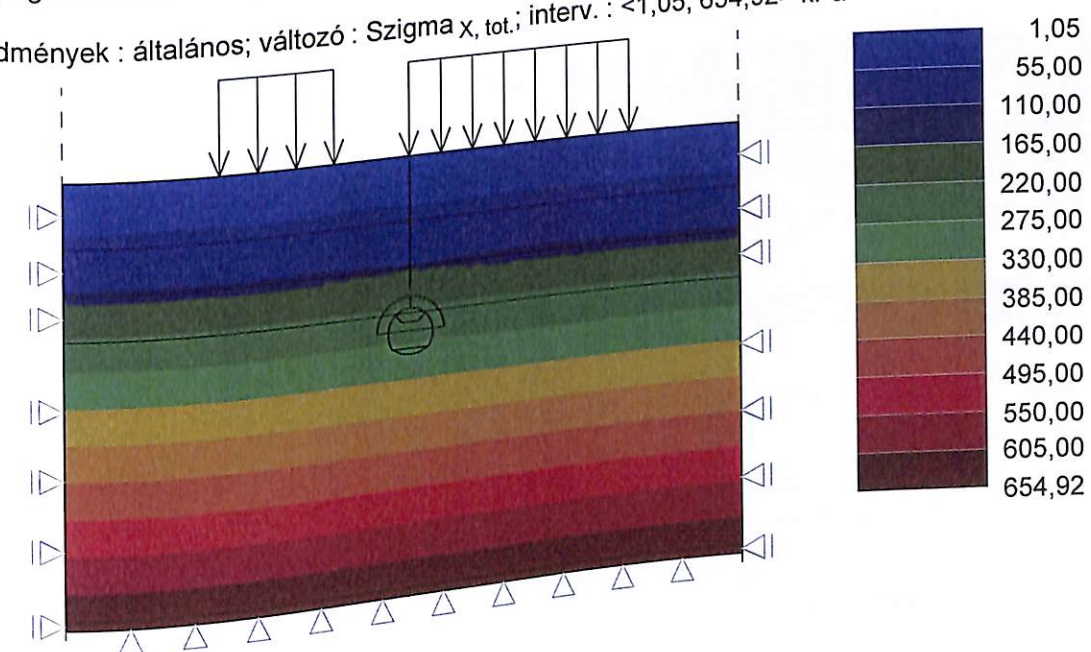
Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

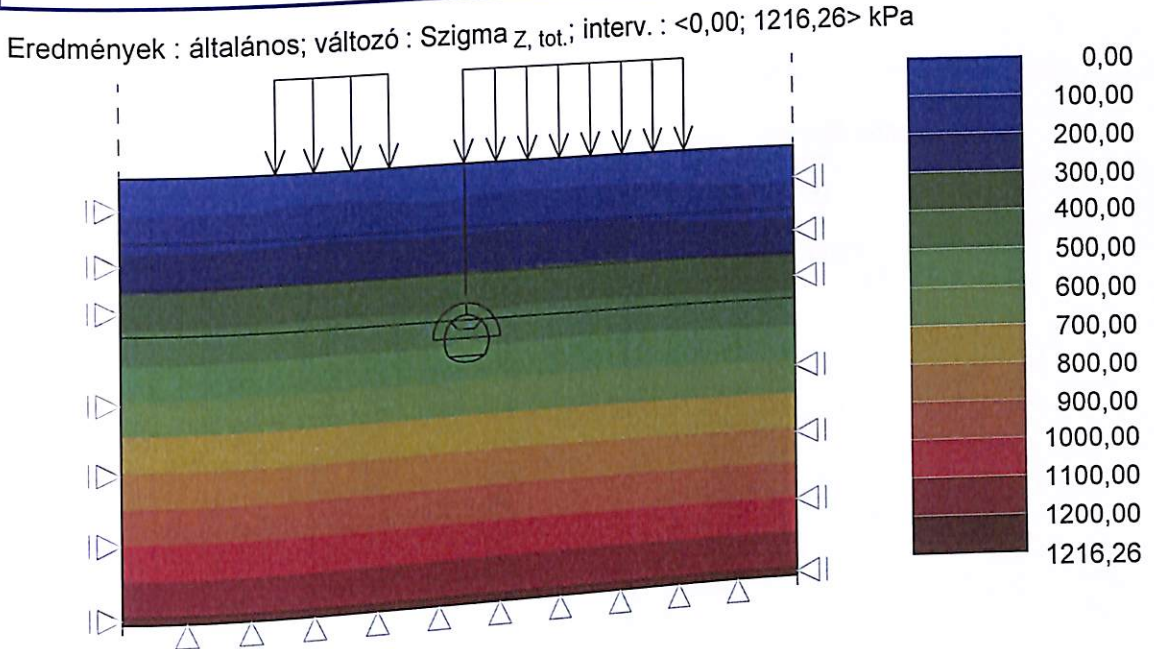
A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : **szabványos**

Tényleges terhelés = 100,00 %

Eredmények : általános; változó : Szigma x, tot.; interv. : <1,05; 654,92> kPa





Rézsűállékonyságok

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 1)

Teher		Intenzitás							
Sz.	Típus	Hely / 1. Pont z [m] / x ₁ [m]	Origó / 1. Pont x [m] / z ₁ [m]	Hossz / 2. Pont l [m] / x ₂ [m]	Szél. / 2. Pont b [m] / z ₂ [m]	Lejtés α [°]	q, q ₁ , f, F	q ₂	egység
1	sáv	terepen	x = 20,00	l = 15,00		0,00	20,00		kN/m ²
2	sáv	terepen	x = 45,00	l = 30,00		0,00	20,00		kN/m ²

Terhek		Név
Sz.		
1	ház	
2	ház 2	

Számítás beállításai

Általános

Módszer :
Merevségi mátrix megvált. :
Iterációk maximális száma egy számítási lépésben :
Kezdeti számítási lépés :
Talajparaméterek csökkentése :
Kezdeti csökkentő lépés :
Elmozdulási hibahatár :
Kiegyensúlyozatlan erők hibahatára :
Energia hibahatár :
Anyag határfelületeinek figy. vétele :

Newton - Raphson
maradjon rugalmas
100
0,25
c, phi csökkentése
0,90
0,0100
0,0100
0,0100
igen
2
2

Newton - Raphson

Számítási lépés relaxációs tényezője :
Számítási lépés maximális relaxációinak száma :

Csökkentő lépés relaxációs tényezője :2
Csökkentő lépés maximális relaxációinak száma :3
Minimum csökkentő lépés :0,99
Vonal keresésiteráció nélkül
Számítási módszer :0,100
Vonalkeresési korlát - minimum :1,000
Vonalkeresési korlát - maximum :
Plaszticitás0,00100
Hozzárend. hibák jelzése :20
Iterációk max. száma egy plaszt. lépéshez :

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,32

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	15,07	0,00
2	15,28	0,00
3	15,28	0,00
4	10,55	12,91
5	13,34	129,14
6	13,34	129,14
9	13,34	129,14
10	13,34	129,14
11	13,34	86,09
12	13,34	86,09
13	13,34	86,09
14	13,34	86,09
15	13,34	86,09

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 3)

Rudak

Rudak										
Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	Keresztmetsz.	Anyag	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Igen		1 sz. szabad vonal	○	○	Igen	A = 3,00E-01 m ² /m; I _y = 2,25E-01 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
		Keresztmetszet				Anyag				
Sz.	I _y [m ⁴ /m]		A [m ² /m]		E [MPa]		G [MPa]			
1	2,25E-03		3,00E-01		15000,00		6000,00			

Eredmények (Kivitelezési fázis 3)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %
Táblázatok

Eloszlások rúdelemen			D		N	M	Q
Sz.	Koordináták		[mm]		[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]
	x [m]	z [m]					
1	46,98	35,22	0,8		0,9	0,0	0,3
					1,9	-0,1	0,7
	46,90	35,30	0,9		1,2	-0,2	-0,3
					2,1	0,4	-0,1
	46,81	35,37	1,4		7,3	0,3	0,1
					11,0	0,3	0,1
	46,41	35,66	1,7		13,0	0,3	0,0
					10,9	0,3	-0,1
	45,97	35,87	1,9		7,2	0,3	-0,1
					1,8	0,4	0,0
	45,49	35,99	2,0		0,2	-0,1	0,7
					2,0	0,0	-0,3
	45,00	36,04	1,9		0,8	0,0	-0,2
	44,51	35,99	1,7				

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.
Számítás beállításai : felhasználói
Biztonsági tényező FS = 1,98

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	17,67	0,00
2	17,92	0,00
3	17,92	0,00
4	12,37	15,15
5	15,65	151,46
6	15,65	151,46
9	15,65	151,46
10	15,65	151,46
11	15,65	100,97
12	15,65	100,97
13	15,65	100,97
14	15,65	100,97
15	15,65	100,97

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 4)

Rudak		Támasz [m]		Figy.vesz	esztmet	Anyag	Kapcsolatok	
Sz.	Gerenda Új módosított	Hely	Kezdőpt.	Végpt.	ónsúly		bal	jobb
1	Nem	Igen	1 sz. szabad vonal	—	—	Igen $\uparrow A = 3,00E-03 \text{ m}^2/\text{m};$ $I_y = 2,25E-03 \text{ m}^4/\text{m}$	$\uparrow E = 33000,0 \text{ MPa}; G = 13750,0 \text{ MPa}$	(nincs megadva)
		Keresztmetszet		Anyag				
Sz.	I_y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]		E [MPa]		G [MPa]		
1	2,25E-03	3,00E-01		33000,00		13750,00		

Eredmények (Kivitelezési fázis 4)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %
Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Szórádi Mihály	M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút Vizsgált szelvény 00+38,39
----------------	--

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	35,22	3,3	172,2	0,0	-4,1
	46,90	35,30	3,4	186,8	0,2	-6,5
	46,81	35,37	3,7	272,6	1,1	-0,8
	46,41	35,66	4,5	298,3	5,6	-8,5
	45,97	35,87	5,2	264,8	9,1	-5,5
	45,49	35,99	5,7	278,0	13,3	-6,7
	45,00	36,04	5,8	287,4	15,2	0,2
	44,51	35,99	5,7	273,3	13,1	7,0
	44,03	35,87	5,2	257,7	8,8	5,4
	43,59	35,66	4,5	291,1	5,3	8,6
	43,18	35,37	3,7	262,1	0,1	1,4
	43,10	35,30	3,4	177,1	-0,5	2,5
	43,02	35,22	3,2	169,2	0,0	-3,6

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 1,88

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	18,60	0,00
2	18,87	0,00
3	18,87	0,00
4	13,02	15,94
5	16,47	159,43
6	16,47	159,43
9	16,47	159,43
10	16,47	159,43
11	16,47	106,29
13	16,47	106,29
14	16,47	106,29
15	16,47	106,29

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 5)

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz ónsúly	esztmet	Anyag	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○—	○—	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv.	(nincs megadv.)

Nem üzleti célú felhasználásra

Sz.	Gerenda Új módosított	Hely	Támasz [m]		Figy.vesz ónsúly	esztmet	Anyag	Kapcsolatok	
			Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
2	Igen	2 sz. szabad vonal	├─	├─	Igen	A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv.	(nincs megadv.
3	Igen	4 sz. szabad vonal	├─	├─	Igen	A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv.	(nincs megadv.
							Anyag		
Sz.	Keresztmetszet						E [MPa]	G [MPa]	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]							
1	2,25E-03	3,00E-01					33000,00	13750,00	
2	2,25E-03	3,00E-01					15000,00	6000,00	
3	2,25E-03	3,00E-01					15000,00	6000,00	

Eredmények (Kivitelezési fázis 5)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %
Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	35,22	3,5	91,5	0,0	-1,9
	46,90	35,30	3,6	191,8	0,2	-6,7
	46,81	35,37	4,0	277,3	1,2	-0,8
	46,41	35,66	4,7	302,4	5,7	-8,7
	45,97	35,87	5,5	269,4	9,4	-6,0
	45,49	35,99	6,0	284,4	13,8	-7,3
	45,00	36,04	6,1	294,5	15,9	0,2
	44,51	35,99	5,9	279,4	13,6	7,6
	44,03	35,87	5,5	262,1	9,0	5,8
	43,59	35,66	4,7	295,0	5,3	8,9
	43,18	35,37	3,9	266,9	0,1	1,2
	43,10	35,30	3,6	182,4	-0,5	2,5
	43,02	35,22	3,4	90,0	0,0	-2,0
	43,02	35,22	3,0	90,0	0,0	-2,0
2	42,70	34,85	2,4	4,2	0,1	0,0
	42,43	34,44	1,4	2,8	0,1	0,1
	42,23	34,00	0,3	1,4	0,1	0,1
	42,08	33,53	-0,7	-1,4	0,0	0,0
	42,01	33,05	-0,8	-4,4	0,0	0,5
	47,99	33,05	-0,8	-3,9	0,0	-0,4
3	47,91	33,53	-0,7	-0,9	0,0	0,0
	47,77	34,00	0,3	1,6	0,1	-0,1
	47,56	34,44	1,4	3,1	0,1	-0,1
	47,30	34,85	2,4	4,5	0,1	0,0
	46,98	35,22	3,1	91,5	0,0	-1,9

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,32

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	15,07	0,00
2	15,28	0,00
3	15,28	0,00
4	10,55	12,91
5	13,34	129,14
6	13,34	129,14
9	13,34	129,14
10	13,34	129,14
11	13,34	86,09
13	13,34	86,09

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
14	13,34	86,09
15	13,34	86,09

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 6)

Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz. önsúly	esztmet	Anyag	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○—	○—	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv
2	Nem	Igen	2 sz. szabad vonal	├—	├—	Igen	↑ A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv	(nincs megadv
3	Nem	Igen	4 sz. szabad vonal	├—	├—	Igen	↑ A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv	(nincs megadv

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
2	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
3	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00

Eredmények (Kivitelezési fázis 6)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %
Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	35,22	5,0	-129,1	0,0	7,5
	46,90	35,30	5,1	-56,7	-1,8	11,2
	46,81	35,37	5,5	1,6	-3,0	7,8
	46,41	35,66	6,4	-37,7	-2,5	-4,2
	45,97	35,87	7,1	-137,3	-0,7	-5,2
	45,49	35,99	7,7	-164,8	1,9	-6,2
	45,00	36,04	7,8	-167,7	4,0	0,2
	44,51	35,99	7,6	-171,2	1,7	6,6
	44,03	35,87	7,1	-147,2	-1,2	5,1
	43,59	35,66	6,3	-48,8	-3,0	4,4
	43,18	35,37	5,5	-14,3	-3,9	-7,4
	43,10	35,30	5,1	-72,3	-2,4	-15,1
	43,02	35,22	4,9	-136,2	0,0	-11,4
	43,02	35,22	4,4	-136,2	0,0	-11,4
2	42,70	34,85	3,8	-129,5	-0,7	2,0
	42,43	34,44	2,7	-39,3	-1,3	3,6
	42,23	34,00	1,5	20,0	-7,8	9,3
	42,08	33,53	0,4	-55,1	-10,1	-10,5
	42,01	33,05	0,3	-98,0	0,0	-4,6
3	47,99	33,05	0,3	-55,4	0,0	4,5
	47,91	33,53	0,4	-40,7	-10,0	10,3
	47,77	34,00	1,5	28,1	-7,4	-9,7
	47,56	34,44	2,7	-34,0	-0,8	-3,3
	47,30	34,85	3,8	-125,1	-0,7	-1,2
	46,98	35,22	4,5	-129,1	0,0	7,5

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 1,37

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	25,52	0,00
2	25,88	0,00
3	25,88	0,00
4	17,86	21,87
5	22,60	218,70
6	22,60	218,70
9	22,60	218,70
10	22,60	218,70
11	22,60	145,80
14	22,60	145,80

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
15	22,60	145,80

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 7)

Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz. önsúly	esztmet.	Anyag	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○—	○—	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
2	Nem	Nem	2 sz. szabad vonal	├—	├—	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
3	Nem	Nem	4 sz. szabad vonal	├—	├—	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
4	Igen		10 sz. szabad vonal	├—	├—	Igen	A = 3,00E-03 m ² /m; I _y = 2,25E-03 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
5	Igen		11 sz. szabad vonal	├—	├—	Igen	A = 3,00E-03 m ² /m; I _y = 2,25E-03 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
2	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
3	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
4	2,25E-03	3,00E-01	15000,00	6000,00
5	2,25E-03	3,00E-01	15000,00	6000,00

Eredmények (Kivitelezési fázis 7)
A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %
Táblázatok

Eloszlások rúdelemen						
Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	35,22	5,1	-127,8	0,0	7,6
	46,90	35,30	5,3	-56,0	-1,8	11,2
	46,81	35,37	5,7	1,9	-3,0	7,8
	46,41	35,66	6,6	-38,5	-2,5	-4,2
	45,97	35,87	7,4	-139,2	-0,8	-5,2
	45,49	35,99	7,9	-167,4	1,9	-6,2
	45,00	36,04	8,0	-170,6	3,9	0,2
	44,51	35,99	7,9	-173,8	1,6	6,5
	44,03	35,87	7,3	-149,1	-1,2	5,0
	43,59	35,66	6,5	-49,7	-3,0	4,3
	43,18	35,37	5,7	-14,1	-3,9	-7,4
	43,10	35,30	5,3	-71,6	-2,4	-15,1
	43,02	35,22	5,1	-134,9	0,0	-11,4
	43,02	35,22	4,6	-134,9	0,0	-11,4
2	42,70	34,85	3,9	-126,8	-0,6	1,9
	42,43	34,44	2,8	-35,5	-1,3	3,7
	42,23	34,00	1,6	23,7	-8,0	9,3
	42,08	33,53	0,4	-53,7	-10,0	-10,8
	42,01	33,05	0,3	-43,2	0,1	-2,5
3	47,99	33,05	0,4	-21,7	0,1	2,4
	47,91	33,53	0,4	-39,1	-9,9	10,7
	47,77	34,00	1,6	31,8	-7,5	-9,7
	47,56	34,44	2,8	-30,3	-0,8	-3,5
	47,30	34,85	4,0	-122,5	-0,7	-1,2
4	46,98	35,22	4,6	-127,8	0,0	7,6
	42,01	33,05	-0,5	-43,2	0,1	-2,5
	42,00	32,56	2,0	5,9	0,3	0,1
	42,06	32,08	2,9	2,8	-0,1	0,6
	42,19	31,61	4,0	0,2	0,2	0,4
	42,38	31,16	5,0	-2,0	0,2	-0,1
	42,63	30,74	5,5	-4,0	0,0	-1,0
	47,37	30,74	5,4	-4,0	0,0	1,0
	47,62	31,16	4,7	-1,9	0,3	0,1
	47,81	31,61	3,8	0,2	0,1	-0,4
5	47,94	32,08	3,3	2,9	-0,1	-0,6
	48,00	32,56	2,0	5,9	-0,3	-0,1
	47,99	33,05	-0,5	-21,7	0,1	2,4

Rézsúállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 1,88

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	18,60	0,00
2	18,87	0,00
3	18,87	0,00
4	13,02	15,94
5	16,47	159,43
6	16,47	159,43
9	16,47	159,43
10	16,47	159,43
11	16,47	106,29
14	16,47	106,29
15	16,47	106,29

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 8)

Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy. vesz. önsúly	esztmet.	Anyag	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○	○	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
2	Nem	Nem	2 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
3	Nem	Nem	4 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
4	Nem	Igen	10 sz. szabad vonal	└	└	Igen	$\uparrow A = 3,00E-01$ m^2/m ; $I_y = 2,25E-01$ m^4/m	$\uparrow E = 33000,0$ MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
5	Nem	Igen	11 sz. szabad vonal	└	└	Igen	$\uparrow A = 3,00E-01$ m^2/m ; $I_y = 2,25E-01$ m^4/m	$\uparrow E = 33000,0$ MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)

Nem üzleti célú felhasználásra

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
2	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
3	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
4	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
5	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00

Eredmények (Kivitelezési fázis 8)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : **szabványos**

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	35,22	5,0	-154,2	0,0	8,4
	46,90	35,30	5,2	-83,3	-2,0	13,1
	46,81	35,37	5,6	-26,5	-3,4	8,6
	46,41	35,66	6,4	-69,5	-3,3	-3,9
	45,97	35,87	7,2	-173,1	-1,7	-5,2
	45,49	35,99	7,7	-203,2	0,9	-6,1
	45,00	36,04	7,8	-206,7	3,0	0,2
	44,51	35,99	7,7	-209,3	0,7	6,5
	44,03	35,87	7,2	-182,7	-2,1	5,0
	43,59	35,66	6,4	-80,1	-3,7	4,0
	43,18	35,37	5,5	-41,8	-4,3	-8,2
	43,10	35,30	5,1	-98,2	-2,6	-16,8
2	43,02	35,22	5,0	-160,5	0,0	-12,2
	43,02	35,22	4,5	-160,5	0,0	-12,2
	42,70	34,85	3,8	-148,0	-0,9	2,3
	42,43	34,44	2,7	-52,6	-1,7	4,0
	42,23	34,00	1,6	10,7	-9,2	12,0
	42,08	33,53	0,4	-69,7	-14,7	-1,3
3	42,01	33,05	0,4	-71,1	-8,7	1,0
	47,99	33,05	0,4	-48,7	-9,0	-2,6
	47,91	33,53	0,5	-54,8	-14,4	1,3
	47,77	34,00	1,6	18,0	-8,7	-12,2
	47,56	34,44	2,8	-48,4	-1,2	-3,8
	47,30	34,85	3,9	-144,8	-1,0	-1,5
	46,98	35,22	4,5	-154,2	0,0	8,4



Nem üzleti célú felhasználásra



Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
4	42,01	33,05	-0,4	-71,1	-8,7	1,0
	42,00	32,56	2,2	6,9	-6,9	-3,0
	42,06	32,08	3,2	8,2	5,6	-2,2
	42,19	31,61	4,4	8,1	4,7	-2,0
	42,38	31,16	5,4	11,7	3,1	-4,2
	42,63	30,74	6,1	15,8	0,0	-9,1
	47,37	30,74	6,0	15,3	0,0	12,0
5	47,62	31,16	5,2	10,7	4,0	4,6
	47,81	31,61	4,2	7,9	5,6	2,2
	47,94	32,08	3,6	6,8	6,6	1,8
	48,00	32,56	2,2	6,9	7,6	2,4
	47,99	33,05	-0,4	-48,7	-9,0	-2,6

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 1,69

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	20,67	0,00
2	20,96	0,00
3	20,96	0,00
4	14,47	17,71
5	18,31	177,15
6	18,31	177,15
9	18,31	177,15
10	18,31	177,15
11	18,31	118,10
15	18,31	118,10

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 9)

Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	esztmet	Anyag	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○—	○—	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv
2	Nem	Nem	2 sz. szabad vonal	┌—	┌—	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv



Nem üzleti célú felhasználásra



Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	esztmet	Anyag	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
3	Nem	Nem	4 sz. szabad vonal	├─	├─	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv
4	Nem	Nem	10 sz. szabad vonal	├─	├─	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv
5	Nem	Nem	11 sz. szabad vonal	├─	├─	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv
6	Igen		3 sz. szabad vonal	├─	├─	Igen	A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	C 30/37	(nincs megadv	(nincs megadv

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
2	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
3	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
4	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
5	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
6	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00

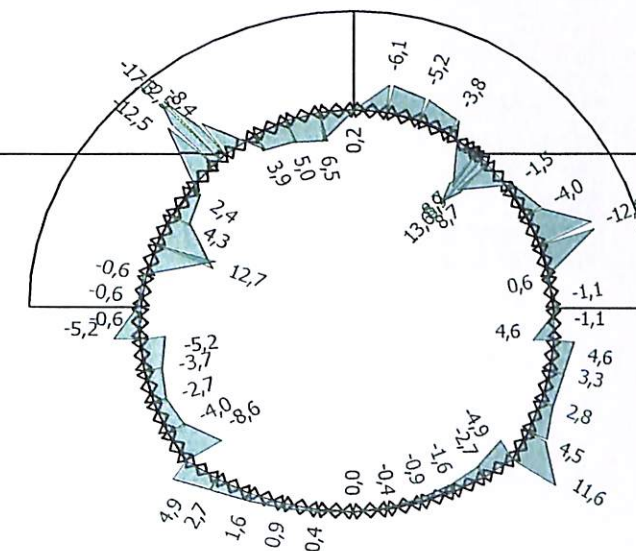
Eredmények (Kivitelezési fázis 9)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : felhasználói

Tényleges terhelés = 100,00 %

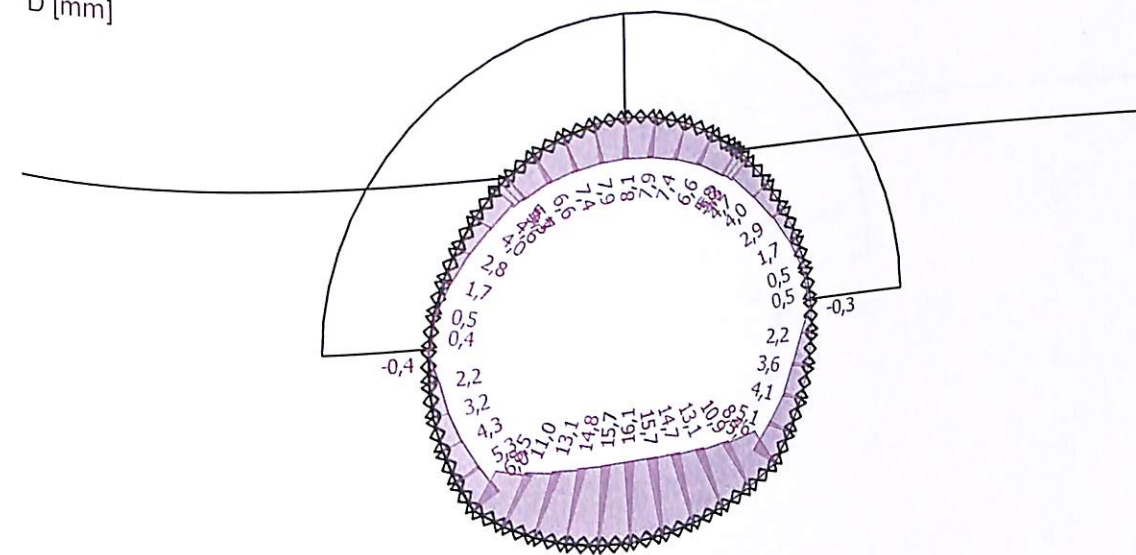
Q [kN/m]



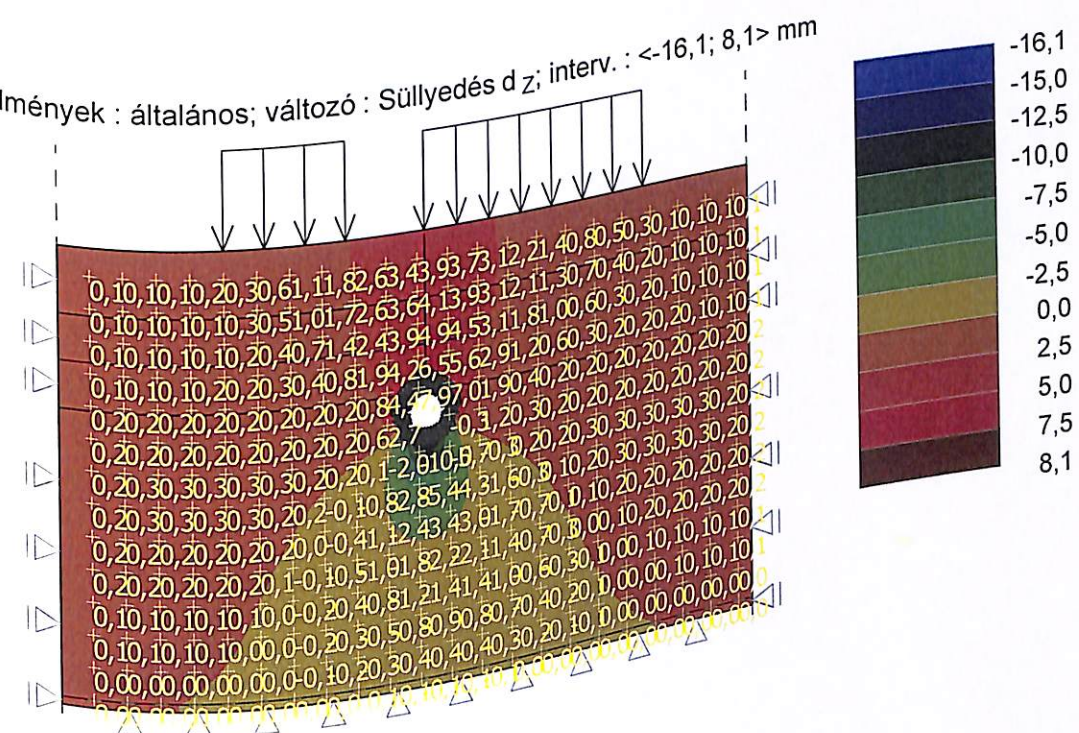
Nem üzleti célú felhasználásra



D [mm]

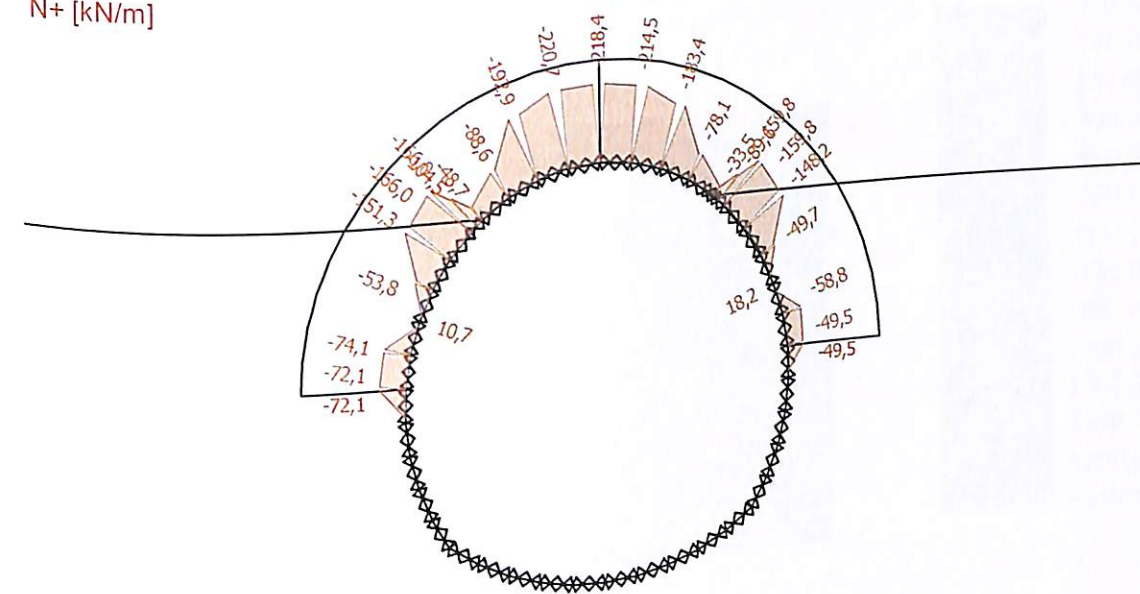


Eredmények : általános; változó : Süllyedés d_z; interv. : <-16,1; 8,1> mm

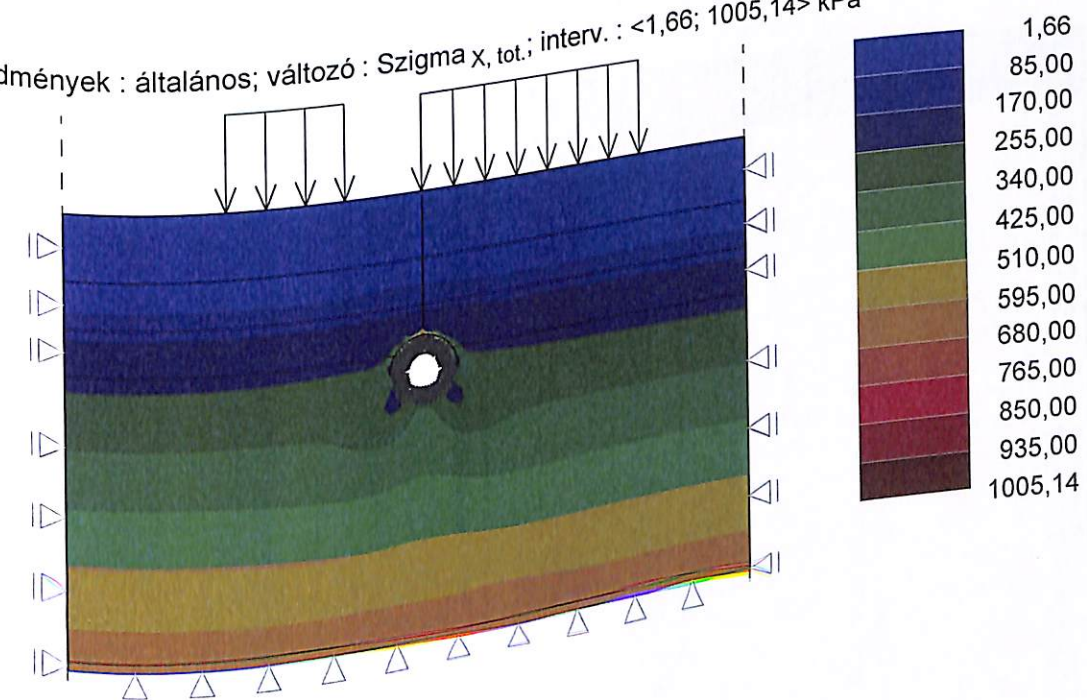


Nem üzleti célú felhasználásra

N+ [kN/m]

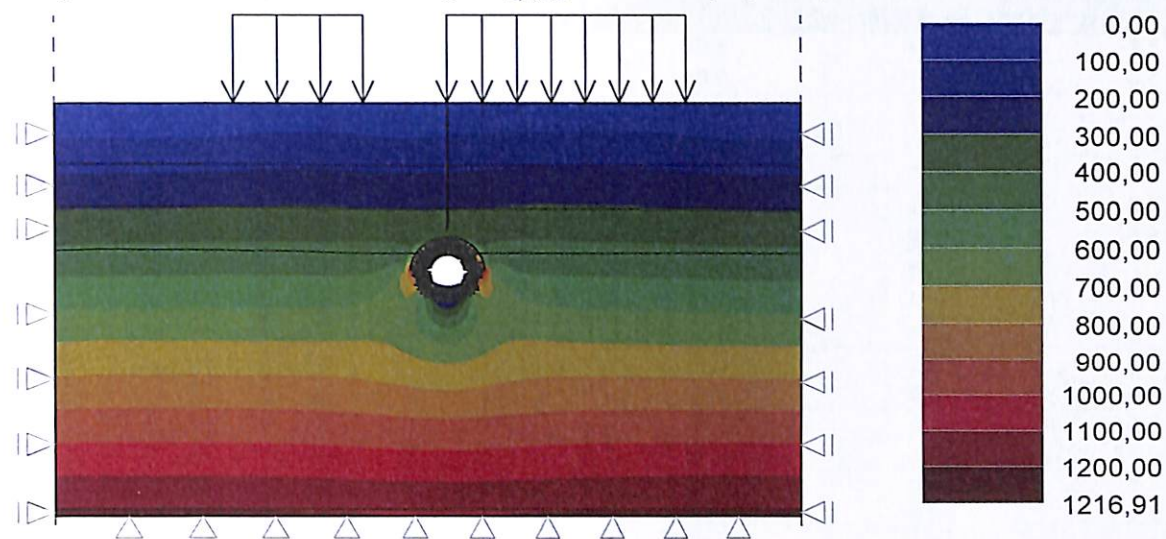


Eredmények : általános; változó : Szigma x, tot. : interv. : <1,66; 1005,14> kPa



Nem üzleti célú felhasználásra

Eredmények : általános; változó : Szigma z, tot.; interv. : <0,00; 1216,91> kPa



Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	35,22	5,2	-159,8	0,0	8,7
	46,90	35,30	5,3	-89,6	-2,1	13,6
	46,81	35,37	5,8	-33,5	-3,5	8,9
	46,41	35,66	6,6	-78,1	-3,5	-3,8
	45,97	35,87	7,4	-183,4	-1,9	-5,2
	45,49	35,99	7,9	-214,5	0,6	-6,1
	45,00	36,04	8,1	-218,4	2,7	0,2
	44,51	35,99	7,9	-220,7	0,3	6,5
	44,03	35,87	7,4	-192,9	-2,3	5,0
	43,59	35,66	6,6	-88,6	-3,9	3,9
	43,18	35,37	5,7	-48,7	-4,4	-8,4
	43,10	35,30	5,3	-104,5	-2,7	-17,3
	43,02	35,22	5,1	-166,0	0,0	-12,5
	43,02	35,22	4,6	-166,0	0,0	-12,5
2	42,70	34,85	4,0	-151,3	-0,9	2,4
	42,43	34,44	2,8	-53,8	-1,8	4,3
	42,23	34,00	1,7	10,7	-9,7	12,7
	42,08	33,53	0,5	-74,1	-15,5	-0,6
	42,01	33,05	0,4	-72,1	-9,3	-0,6

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
3	47,99	33,05	0,5	-49,5	-9,7	-1,1
	47,91	33,53	0,5	-58,8	-15,1	0,6
	47,77	34,00	1,7	18,2	-9,1	-12,8
	47,56	34,44	2,9	-49,7	-1,2	-4,0
	47,30	34,85	4,0	-148,2	-1,0	-1,5
	46,98	35,22	4,7	-159,8	0,0	8,7
	42,01	33,05	-0,4	-72,1	-9,3	-0,6
4	42,00	32,56	2,2	13,2	-6,3	-5,2
	42,06	32,08	3,2	15,3	4,1	-3,7
	42,19	31,61	4,3	16,3	2,6	-2,7
	42,38	31,16	5,3	20,5	0,8	-4,0
	42,63	30,74	6,0	25,1	-1,9	-8,6
	47,37	30,74	5,9	24,9	-1,9	11,6
	47,62	31,16	5,1	19,6	1,8	4,5
5	47,81	31,61	4,1	16,1	3,5	2,8
	47,94	32,08	3,6	14,1	5,1	3,3
	48,00	32,56	2,2	13,3	7,0	4,6
	47,99	33,05	-0,3	-49,5	-9,7	-1,1
	42,63	30,74	8,5	9,2	-1,9	4,9
	43,05	30,46	11,0	7,2	-0,2	2,7
	43,51	30,25	13,1	5,5	0,9	1,6
6	43,99	30,09	14,8	4,3	1,6	0,9
	44,49	29,99	15,7	3,5	1,9	0,4
	45,00	29,96	16,1	3,3	2,0	0,0
	45,50	29,99	15,7	3,5	1,9	-0,4
	46,00	30,09	14,7	4,3	1,6	-0,9
	46,48	30,25	13,1	5,5	0,9	-1,6
	46,94	30,46	10,9	7,2	-0,2	-2,7
	47,37	30,74	8,4	9,2	-1,9	-4,9

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 4,37

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	8,01	0,00
2	8,12	0,00
3	8,12	0,00
4	5,60	6,86

Szórádi Mihály

M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
Vizsgált szelvény 00+38,39

A számítás lefutott a talajok csökk.
paramétereivel

Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
5	7,09	68,63
6	7,09	68,63
9	7,09	68,63
10	7,09	68,63
11	7,09	45,75
15	7,09	45,75

Nem üzleti célú felhasználásra

25

[GEO5 - FEM (diák licenz)] | verzió 5.19.8.0 | hardverkulcs 2174 / 1 | Szórádi Mihály | Copyright © 2015 Fine spol. s r.o. All Rights Reserved |
www.finesoftware.eu | info@hungarocad.hu | http://www.hungarocad.hu |
[HungaroCAD Informatikai Kft.]

Számítás végeselem módszerrel

Topológia

Projekt

Munka : M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
Rész : Vizsgált szelvény: 02+75,94
Dátum : 2015.05.05.

Globális beállítások

Projekt típusa : Síkbeli alakv.
Számítás típusa : Feszültség
Alagutak : igen
Bővített adatbevitel : nem
Részletes eredmények : igen
Beton szerkezetek : EN 1992-1-1 (EC2)

Felület

Sz.	Felület helye	Felület pontjainak koordinátái [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		10,00	61,32	80,00	61,32		
2		10,00	54,11	80,00	54,11		
3		10,00	52,36	80,00	52,36		
4		10,00	48,69	80,00	48,69		
5		10,00	10,00	80,00	10,00		

Talajparaméterek - alapadatok

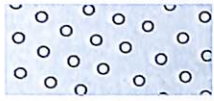
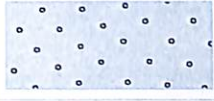
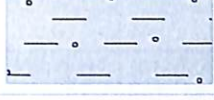
Sz.	Név	Minta	γ [kN/m³]	E [MPa]	ν [-]
1	Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör		20,00	80,00	0,25
2	Jól osztályozott homok (SW), tömör		21,00	30,00	0,28
3	közepes oligocén		22,00	150,00	0,35
4	injektált		24,00	10000,00	0,20

Talajparaméterek - adatok a modellnek megfelelően

Sz.	Anyagmodell	c _{ef} [kPa]	φ _{ef} [°]	ψ [°]
1	Mohr - Coulomb	0,00	35,50	0,00

Sz.	Anyagmodell	c_{ef} [kPa]	φ_{ef} [°]	ψ [°]
2	Mohr - Coulomb	0,00	35,00	0,00
3	Mohr - Coulomb	200,00	31,00	0,00
4	Módosított Mohr - Coulomb	450,00	31,00	0,00

Talajparaméterek - felhajtóerő

Sz.	Név	Minta	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [-]
1	Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör		20,00		
2	Jól osztályozott homok (SW), tömör		21,00		
3	közepes oligocén		22,00		
4	injektált		24,00		

Talajparaméterek

Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör
Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,25$
Rug. modulus : $E = 80,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 35,50^\circ$
Talaj kohézió : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Jól osztályozott homok (SW), tömör
Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,28$
Rug. modulus : $E = 30,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 35,00^\circ$
Talaj kohézió : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

közepes oligocén
Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 22,00 \text{ kN/m}^3$

Poisson tényező : $\nu = 0,35$
 Rug. modulus : $E = 150,00 \text{ MPa}$
 Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 31,00^\circ$
 Talaj kohézió : $c_{ef} = 200,00 \text{ kPa}$
 Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
 Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 22,00 \text{ kN/m}^3$

injektált

Anyagmodell : Módosított Mohr - Coulomb
 Térfogatsúly : $\gamma = 24,00 \text{ kN/m}^3$
 Poisson tényező : $\nu = 0,20$
 Rug. modulus : $E = 10000,00 \text{ MPa}$
 Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 31,00^\circ$
 Talaj kohézió : $c_{ef} = 450,00 \text{ kPa}$
 Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
 Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 24,00 \text{ kN/m}^3$

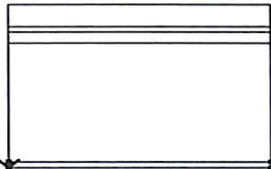
Hozzárendelések és felületek

Sz.	Felszín pozíciója	Felszín pontjainak koordinátái [m]				Hozzárendelt talaj
		x	z	x	z	
1		80,00	54,11	80,00	61,32	Kavics keves finomszemcsével (G-F), tömör
		10,00	61,32	10,00	54,11	
2		80,00	52,36	80,00	54,11	Jól osztályozott homok (SW), tömör
		10,00	54,11	10,00	52,36	
3		80,00	48,69	80,00	52,36	Kavics keves finomszemcsével (G-F), tömör
		10,00	52,36	10,00	48,69	
4		80,00	10,00	80,00	48,69	közepes oligocén
		10,00	48,69	10,00	10,00	



Nem üzleti célú felhasználásra



Sz.	Felszín pozíciója	Felszín pontjainak koordinátái [m]				Hozzárendelt talaj
		x	z	x	z	
5		10,00	10,00	10,00	8,00	(nincs hozzárendelve)
		80,00	8,00	80,00	10,00	

Vonalak sűrítése

Sz.	Hely	Sugár r [m]	Hossz l [m]
1	17 sz. szabad vonal	15,00	0,50
2	2 sz. szabad vonal	1,00	0,50
3	3 sz. szabad vonal	1,00	0,50
4	4 sz. szabad vonal	1,00	0,50
5	10 sz. szabad vonal	1,00	0,50
6	11 sz. szabad vonal	1,00	0,50
7	16 sz. szabad vonal	1,00	0,50

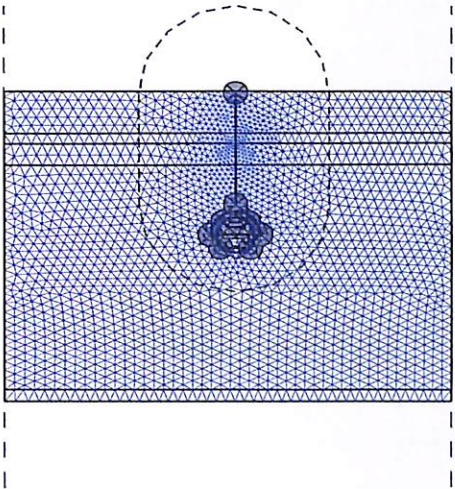
Hálógenerálás

Hálógenerálás paraméterei

Élhossz : 1,50 [m]
Hálósűrítés : igen
Többcsomópontú elemek generálása : igen

Hálógenerálás eredménye

A végelelemháló sikeresen elkészült.
Csomópontok száma 11014
Elemek száma 6413 (régió 4365, rúd 512, felület 1536)



Rézsűállékonyságok

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 1)

Teher

Sz.	Típus	Hely / 1. Pont	Origó / 1. Pont	Hossz / 2. Pont	Szél. / 2. Pont	Lejtés α [°]	Intenzitás		
		z [m] / x ₁ [m]	x [m] / z ₁ [m]	l [m] / x ₂ [m]	b [m] / z ₂ [m]		q, q ₁ , f, F	q ₂	egység
1	sáv	z = 58,00	x = 20,00	l = 15,00		0,00	40,00		kN/m ²
2	sáv	z = 58,00	x = 45,00	l = 20,00		0,00	40,00		kN/m ²

Terhek

Sz.	Név
1	ház
2	ház2

Számítás beállításai

Általános

Módszer :	Newton - Raphson
Merevségi mátrix megvált. :	maradjon rugalmas
Iterációk maximális száma egy számítási lépésben :	100
Kezdeti számítási lépés :	0,25
Talajparaméterek csökkentése :	c, phi csökkentése
Kezdeti csökkentő lépés :	0,90
Elmozdulási hibahatár :	0,0100
Kiegyensúlyozatlan erők hibahatára :	0,0100
Energia hibahatár :	0,0100
Anyag határfelületeinek figy. vétele :	igen

Newton - Raphson

Számítási lépés relaxációs tényezője :	2
Számítási lépés maximális relaxációinak száma :	2
Csökkentő lépés relaxációs tényezője :	2
Csökkentő lépés maximális relaxációinak száma :	3
Minimum csökkentő lépés :	0,99

Vonal keresés

Számítási módszer :	iteráció nélkül
Vonalkeresési korlát - minimum :	0,100
Vonalkeresési korlát - maximum :	1,000

Plaszticitás

Hozzárend. hibák jelzése :	0,00100
Iterációk max. száma egy plaszt. lépéshez :	20

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,09

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	16,98	0,00
2	16,74	0,00
3	16,74	0,00
4	16,98	0,00
5	16,98	0,00
6	14,83	95,66
7	14,83	215,23
8	14,83	215,23
10	14,83	95,66
11	14,83	95,66
12	14,83	95,66
13	14,83	95,66

Eredmények (Kivitelezési fázis 4)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : felhasználói
Tényleges terhelés = 100,00 %
Táblázatok

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	39,02	0,4	-3,8	0,0	-1,3
	46,40	39,46	0,9	2,8	0,2	0,1
	45,72	39,74	1,5	9,5	0,3	-0,4
	45,00	39,84	1,7	13,8	0,5	0,0
	44,27	39,74	1,5	9,4	0,3	0,4
	43,60	39,46	0,9	2,8	0,2	-0,1
	43,02	39,02	0,4	-3,8	0,0	1,3

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.
Számítás beállításai : felhasználói
Biztonsági tényező FS = 2,58

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	13,75	0,00
2	13,56	0,00
3	13,56	0,00

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
4	13,75	0,00
5	13,75	0,00
6	12,01	77,48
7	12,01	174,34
8	12,01	174,34
10	12,01	77,48
11	12,01	77,48
12	12,01	77,48
13	12,01	77,48

Eredmények (Kivitelezési fázis 5)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : felhasználói
Tényleges terhelés = 100,00 %
Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	39,02	3,2	324,6	0,0	-5,5
	46,40	39,46	4,1	146,1	7,0	-1,0
	45,72	39,74	5,1	-2,2	3,8	-4,7
	45,00	39,84	5,5	-38,7	3,1	0,3
	44,27	39,74	5,1	0,1	3,7	4,4
	43,60	39,46	4,1	152,7	7,3	0,9
	43,02	39,02	3,3	333,0	0,0	5,8

Rézsúállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.
Számítás beállításai : felhasználói
Biztonsági tényező FS = 2,58

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	13,75	0,00
2	13,56	0,00
3	13,56	0,00
4	13,75	0,00
5	13,75	0,00
6	12,01	77,48

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
7	12,01	174,34
8	12,01	174,34
11	12,01	77,48
12	12,01	77,48
13	12,01	77,48

Eredmények (Kivitelezési fázis 6)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : felhasználói

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	39,02	3,4	170,0	0,0	-2,4
	46,40	39,46	4,3	151,6	7,3	-1,0
	45,72	39,74	5,3	1,2	3,9	-4,7
	45,00	39,84	5,7	-35,9	3,2	0,3
	44,27	39,74	5,3	3,5	3,8	4,4
	43,60	39,46	4,3	158,1	7,5	0,9
	43,02	39,02	3,4	174,2	0,0	2,5
2	43,02	39,02	2,7	174,2	0,0	2,5
	42,70	38,65	2,0	6,5	0,2	0,0
	42,43	38,24	1,1	5,3	0,2	0,1
	42,23	37,80	0,0	3,4	0,1	0,2
	42,08	37,33	-1,1	0,5	0,0	0,1
	42,01	36,85	-1,8	-4,5	0,0	0,3
	47,99	36,85	-1,9	-4,1	0,0	-0,3
3	47,91	37,33	-1,1	0,6	0,0	0,0
	47,77	37,80	0,0	3,4	0,1	-0,1
	47,56	38,24	1,0	5,3	0,2	-0,1
	47,30	38,65	2,0	6,5	0,2	0,0
	46,98	39,02	2,7	170,0	0,0	-2,4

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,58



Nem üzleti célú felhasználásra



A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	13,75	0,00
2	13,56	0,00
3	13,56	0,00
4	13,75	0,00
5	13,75	0,00
6	12,01	77,48
7	12,01	174,34
8	12,01	174,34
11	12,01	77,48
12	12,01	77,48
13	12,01	77,48

Eredmények (Kivitelezési fázis 7)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : felhasználói

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	39,02	5,3	-126,1	0,0	0,2
	46,40	39,46	6,1	-252,5	-10,1	4,1
	45,72	39,74	7,1	-484,1	-18,2	-3,5
	45,00	39,84	7,5	-551,3	-20,3	0,3
	44,27	39,74	7,1	-487,9	-18,6	3,3
	43,60	39,46	6,1	-257,9	-10,3	-4,2
	43,02	39,02	5,3	-139,0	0,0	0,2
2	43,02	39,02	4,3	-139,0	0,0	0,2
	42,70	38,65	3,7	-200,9	-4,3	3,5
	42,43	38,24	2,7	-99,8	-4,4	-0,8
	42,23	37,80	1,6	-6,7	-8,2	16,8
	42,08	37,33	0,5	26,3	-16,6	-4,9
	42,01	36,85	-0,1	-114,3	0,0	-34,1
	47,99	36,85	0,0	-122,3	0,0	33,2
3	47,91	37,33	0,6	30,4	-16,9	6,6
	47,77	37,80	1,7	12,4	-8,6	-18,6
	47,56	38,24	2,8	-78,7	-3,9	0,4
	47,30	38,65	3,8	-181,4	-3,8	-3,0
	46,98	39,02	4,3	-126,1	0,0	0,2



Nem üzleti célú felhasználásra



Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.
Számítás beállításai : felhasználói
Biztonsági tényező FS = 1,88

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	18,87	0,00
2	18,60	0,00
3	18,60	0,00
4	18,87	0,00
5	18,87	0,00
6	16,47	106,29
7	16,47	239,15
8	16,47	239,15
12	16,47	106,29
13	16,47	106,29

Eredmények (Kivitelezési fázis 8)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : felhasználói
Tényleges terhelés = 100,00 %
Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	39,02	5,5	-124,5	0,0	0,2
	46,40	39,46	6,2	-252,5	-10,2	4,1
	45,72	39,74	7,3	-485,3	-18,3	-3,5
	45,00	39,84	7,6	-553,0	-20,4	0,3
	44,27	39,74	7,2	-489,2	-18,7	3,2
	43,60	39,46	6,2	-258,0	-10,4	-4,3
	43,02	39,02	5,4	-137,3	0,0	0,1
2	43,02	39,02	4,4	-137,3	0,0	0,1
	42,70	38,65	3,8	-197,9	-4,2	3,5
	42,43	38,24	2,8	-95,5	-4,3	-0,8
	42,23	37,80	1,7	-1,7	-8,3	17,1
	42,08	37,33	0,6	30,9	-16,6	-5,4
	42,01	36,85	-0,1	-50,0	0,1	-17,3

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
3	47,99	36,85	0,0	-54,0	0,1	16,9
	47,91	37,33	0,6	34,6	-16,9	7,1
	47,77	37,80	1,8	17,3	-8,6	-18,9
	47,56	38,24	2,9	-74,4	-3,8	0,4
	47,30	38,65	3,9	-178,4	-3,7	-2,9
	46,98	39,02	4,4	-124,5	0,0	0,2
4	42,01	36,85	-1,0	-50,0	0,1	-17,3
	42,00	36,36	1,6	6,4	0,4	0,1
	42,06	35,88	4,0	3,5	-0,1	0,7
	42,19	35,41	4,6	0,8	0,2	0,5
	42,38	34,96	5,5	-1,5	0,3	-0,1
	42,63	34,54	5,9	-3,7	0,0	-1,1
5	47,37	34,54	5,8	-3,3	0,0	1,0
	47,62	34,96	5,4	-1,2	0,2	0,1
	47,81	35,41	4,5	1,0	0,1	-0,5
	47,94	35,88	3,8	3,6	-0,2	-0,7
	48,00	36,36	1,9	6,4	-0,4	0,0
	47,99	36,85	-0,9	-54,0	0,1	16,9

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 1,88

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ _{ef} [°]	c _{ef} [kPa]
1	18,87	0,00
2	18,60	0,00
3	18,60	0,00
4	18,87	0,00
5	18,87	0,00
6	16,47	106,29
7	16,47	239,15
8	16,47	239,15
12	16,47	106,29
13	16,47	106,29

Eredmények (Kivitelezési fázis 9)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : felhasználói

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	39,02	5,4	-147,7	0,0	0,2
	46,40	39,46	6,1	-277,6	-11,2	4,4
	45,72	39,74	7,1	-512,1	-19,5	-3,5
	45,00	39,84	7,5	-580,3	-21,7	0,3
	44,27	39,74	7,1	-515,8	-19,9	3,2
	43,60	39,46	6,1	-282,6	-11,4	-4,5
	43,02	39,02	5,3	-159,9	0,0	0,1
2	43,02	39,02	4,3	-159,9	0,0	0,1
	42,70	38,65	3,8	-217,7	-4,7	3,9
	42,43	38,24	2,8	-113,0	-4,9	-0,6
	42,23	37,80	1,7	-17,2	-9,4	19,0
	42,08	37,33	0,6	15,9	-19,7	0,5
	42,01	36,85	0,0	-66,5	-7,6	-11,2
	47,99	36,85	0,1	-71,9	-7,7	10,9
3	47,91	37,33	0,7	18,6	-20,1	1,1
	47,77	37,80	1,8	0,7	-9,8	-20,9
	47,56	38,24	2,8	-92,9	-4,5	0,2
	47,30	38,65	3,8	-199,0	-4,2	-3,3
	46,98	39,02	4,4	-147,7	0,0	0,2
	42,01	36,85	-0,9	-66,5	-7,6	-11,2
	42,00	36,36	1,7	5,3	-6,2	-2,7
4	42,06	35,88	4,2	5,0	5,2	-1,5
	42,19	35,41	4,9	5,0	4,4	-1,8
	42,38	34,96	5,9	7,1	3,2	-3,4
	42,63	34,54	6,4	10,6	0,0	-9,6
	47,37	34,54	6,3	8,8	0,0	8,2
	47,62	34,96	5,8	7,1	2,6	2,8
	47,81	35,41	4,9	3,5	3,7	1,5
5	47,94	35,88	4,1	4,5	4,9	2,7
	48,00	36,36	2,0	4,0	6,1	3,2
	47,99	36,85	-0,8	-71,9	-7,7	10,9

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 1,81



Nem üzleti célú felhasználásra

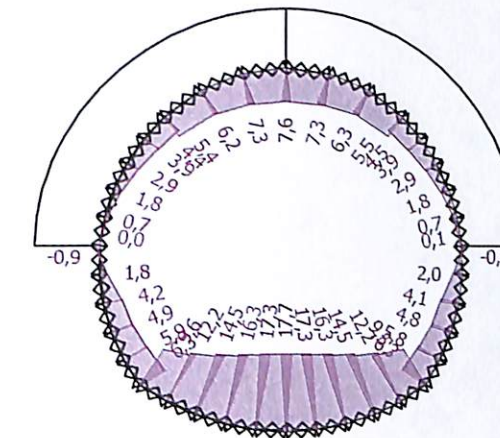


Túllépte a csökkentő lépésenkénti maximális relaxációk számát.

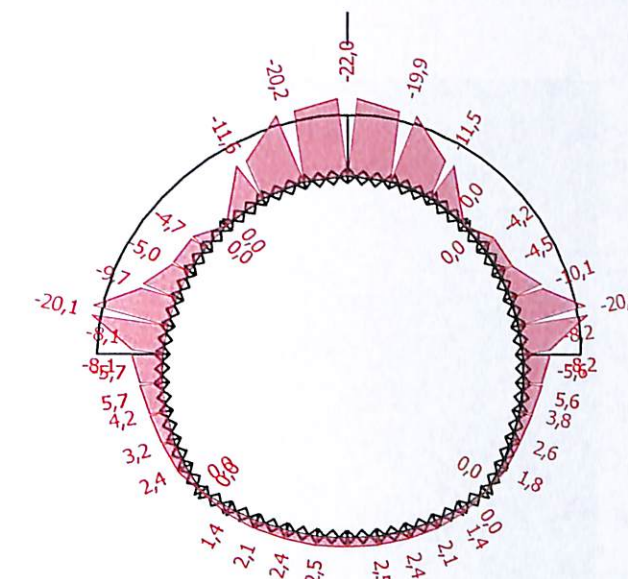
A feszültség számítás sikeresen lefutott.

Tényleges terhelés = 100,00 %

D [mm]

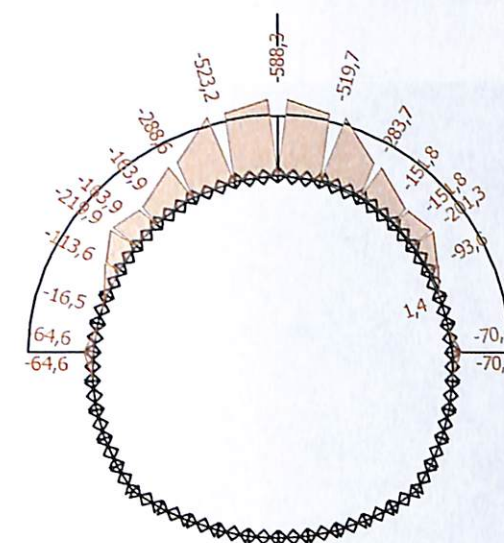
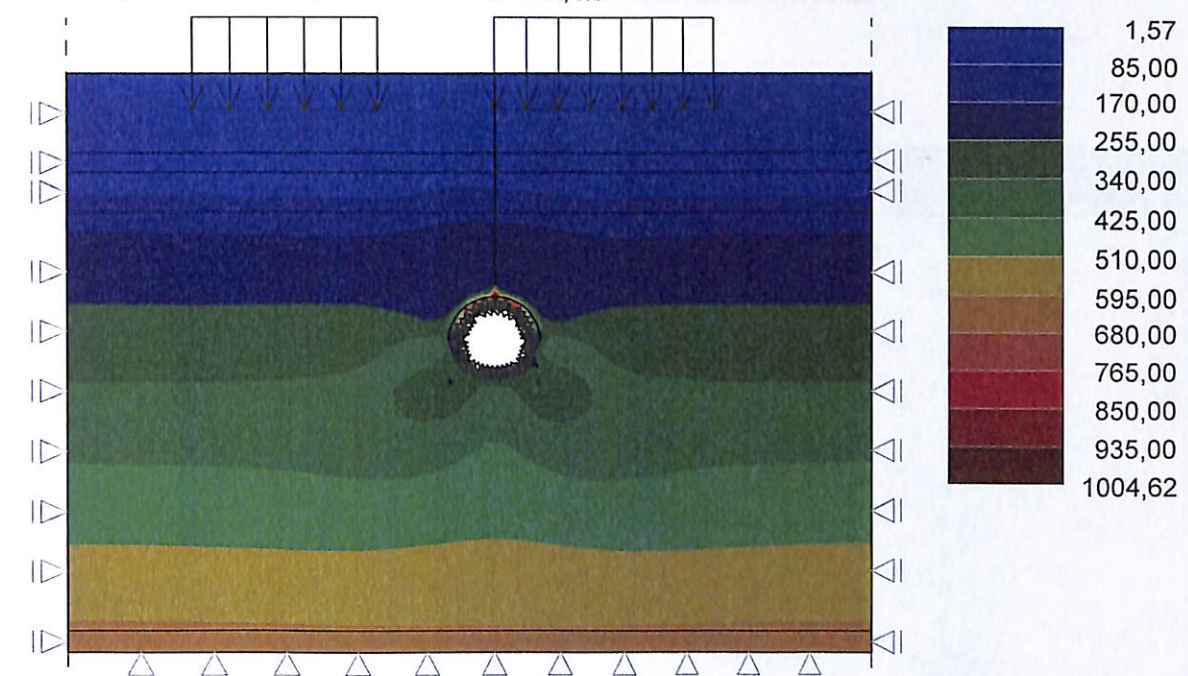


M [kNm/m]



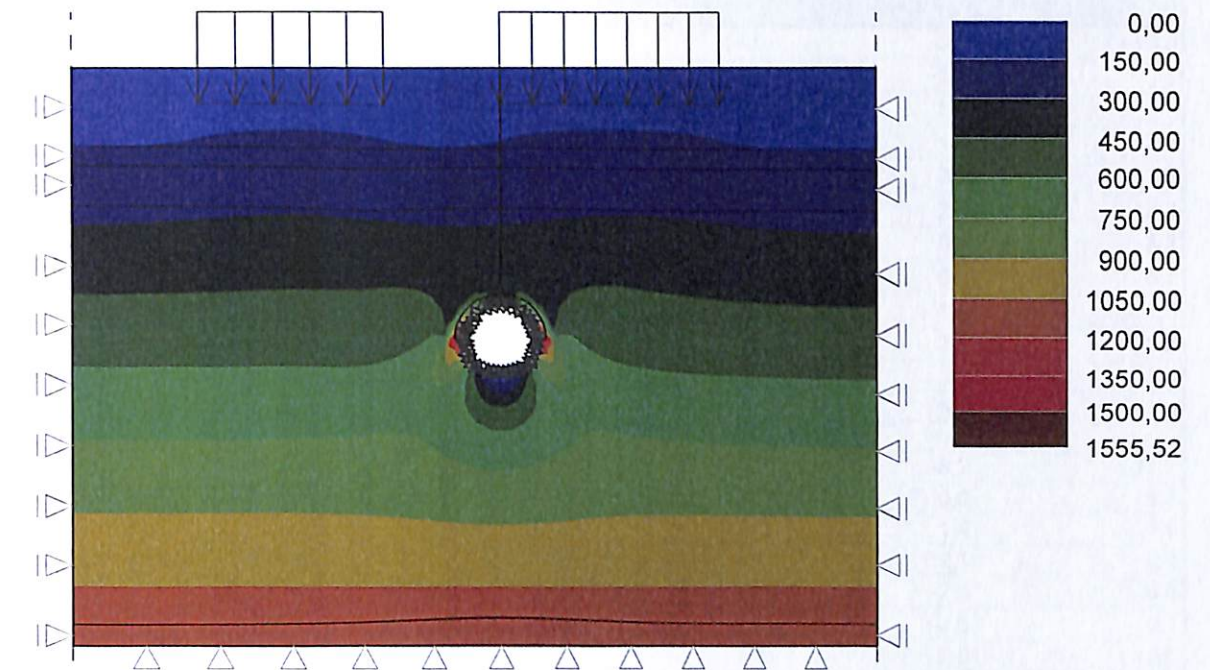
Nem üzleti célú felhasználásra

N+ [kN/m]

Eredmények : általános; változó : Szigma χ_{tot} ; interv. : <1,57; 1004,62> kPa

Nem üzleti célú felhasználásra



Eredmények : általános; változó : Szigma Σ_z , tot.; interv. : <0,00; 1555,52> kPa

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	39,02	5,5	-151,8	0,0	0,3
	46,40	39,46	6,3	-283,7	-11,5	4,5
	45,72	39,74	7,3	-519,7	-19,9	-3,4
	45,00	39,84	7,6	-588,3	-22,0	0,3
	44,27	39,74	7,3	-523,2	-20,2	3,2
	43,60	39,46	6,2	-288,6	-11,6	-4,6
2	43,02	39,02	5,4	-163,9	0,0	0,1
	43,02	39,02	4,4	-163,9	0,0	0,1
	42,70	38,65	3,9	-219,9	-4,7	3,9
	42,43	38,24	2,9	-113,6	-5,0	-0,5
	42,23	37,80	1,8	-16,5	-9,7	19,7
	42,08	37,33	0,7	15,6	-20,1	0,7
3	42,01	36,85	0,0	-64,6	-8,1	-12,0
	47,99	36,85	0,1	-70,1	-8,2	11,7
	47,91	37,33	0,7	18,6	-20,5	1,0
	47,77	37,80	1,8	1,4	-10,1	-21,5
	47,56	38,24	2,9	-93,6	-4,5	0,0
	47,30	38,65	3,9	-201,3	-4,2	-3,4
	46,98	39,02	4,5	-151,8	0,0	0,3



Nem üzleti célú felhasználásra



Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
4	42,01	36,85	-0,9	-64,6	-8,1	-12,0
	42,00	36,36	1,8	12,1	-5,7	-4,4
	42,06	35,88	4,2	12,6	5,7	-2,2
	42,19	35,41	4,9	13,3	4,2	-1,5
	42,38	34,96	5,9	16,1	3,2	-2,3
	42,63	34,54	6,3	20,0	2,4	-8,2
5	47,37	34,54	6,3	17,9	0,0	6,7
	47,62	34,96	5,8	16,0	0,0	1,6
	47,81	35,41	4,8	11,8	1,8	1,2
	47,94	35,88	4,1	12,2	2,6	3,4
	48,00	36,36	2,0	10,7	3,8	4,9
	47,99	36,85	-0,8	-70,1	-5,6	11,7
6	42,63	34,54	9,6	8,7	-8,2	4,3
	43,05	34,26	12,2	7,0	0,0	1,9
	43,51	34,05	14,5	5,2	1,4	0,8
	43,99	33,89	16,3	3,9	2,1	0,3
	44,49	33,79	17,3	3,2	2,4	0,1
	45,00	33,76	17,7	2,9	2,5	0,0
	45,50	33,79	17,3	3,2	2,5	-0,1
	46,00	33,89	16,3	4,0	2,4	-0,4
	46,48	34,05	14,5	5,1	2,1	-0,8
	46,94	34,26	12,2	6,9	1,4	-1,9
	47,37	34,54	9,5	9,0	0,0	-4,3

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat szabálytalanul zárult.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 5,40

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	6,58	0,00
2	6,49	0,00
3	6,49	0,00
4	6,58	0,00
5	6,58	0,00
6	5,74	37,06
7	5,74	83,39
8	5,74	83,39
13	5,74	37,06

[W107] A biztonsági tényező értéke irreálisan magas.

!	Nem üzleti célú felhasználásra	!
---	--------------------------------	---

Számítás végeselem módszerrel**Topológia****Projekt**

Munka : M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút

Rész : Vizsgált szelvény: 11+50,09

Dátum : 2015.05.05.

Globális beállítások

Projekt típusa : Síkbeli alakv.
Számítás típusa : Feszültség
Alagutak : igen
Bővített adatbevitel : nem
Részletes eredmények : nem
Beton szerkezetek : EN 1992-1-1 (EC2)

Talajparaméterek**Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör**

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,25$
Rug. modulus : $E = 80,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 35,50^\circ$
Talaj kohézió : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Jól osztályozott homok (SW), tömör

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,28$
Rug. modulus : $E = 20,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 39,50^\circ$
Talaj kohézió : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

Homokos agyag (CS), konzisztencia kemény

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,35$
Rug. modulus : $E = 12,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 24,50^\circ$
Talaj kohézió : $c_{ef} = 14,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

közepes oligocén

Anyagmodell : Mohr - Coulomb



Nem üzleti célú felhasználásra



Térfogatsúly : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
 Poisson tényező : $\nu = 0,35$
 Rug. modulus : $E = 150,00 \text{ MPa}$
 Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 31,00^\circ$
 Talaj kohézió : $c_{ef} = 200,00 \text{ kPa}$
 Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
 Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 22,00 \text{ kN/m}^3$

nem exp olig
 Anyagmodell : Mohr - Coulomb
 Térfogatsúly : $\gamma = 22,00 \text{ kN/m}^3$
 Poisson tényező : $\nu = 0,35$
 Rug. modulus : $E = 220,00 \text{ MPa}$
 Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 31,00^\circ$
 Talaj kohézió : $c_{ef} = 250,00 \text{ kPa}$
 Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
 Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 23,00 \text{ kN/m}^3$

jetgrouting
 Anyagmodell : Mohr - Coulomb
 Térfogatsúly : $\gamma = 22,00 \text{ kN/m}^3$
 Poisson tényező : $\nu = 0,20$
 Rug. modulus : $E = 10000,00 \text{ MPa}$
 Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 31,00^\circ$
 Talaj kohézió : $c_{ef} = 450,00 \text{ kPa}$
 Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
 Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 22,00 \text{ kN/m}^3$

Vonalak sűrítése

Sz.	Hely	Sugár r [m]	Hossz l [m]
1	17 sz. szabad vonal	15,00	0,50
2	1 sz. szabad vonal	1,00	0,50
3	2 sz. szabad vonal	1,00	0,50
4	3 sz. szabad vonal	1,00	0,50
5	4 sz. szabad vonal	1,00	0,50
6	10 sz. szabad vonal	1,00	0,50
7	11 sz. szabad vonal	1,00	0,50
8	16 sz. szabad vonal	3,00	0,50

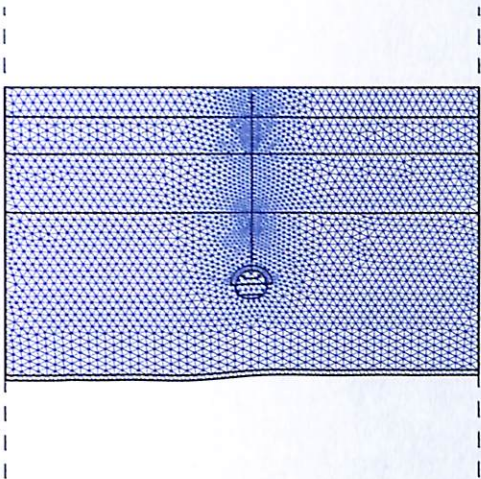
Hálógenerálás

Hálógenerálás paraméterei
 Élhossz : 1,50 [m]
 Hálósűrítés : igen
 Többcsomópontú elemek generálása : igen

Hálógenerálás eredménye
 A végelelemháló sikeresen elkészült.

! Nem üzleti célú felhasználásra !

Csomópontok száma 16506
Elemek száma 9373 (régió 6857, rúd 629, felület 1887)



Adatbevitel (Kivitelezési fázis 1)

Teher

Sz.	Típus	Hely / 1. Pont	Origó / 1. Pont	Hossz / 2. Pont	Szél. / 2. Pont	Lejtés α [°]	Intenzitás		
		z [m] / x ₁ [m]	x [m] / z ₁ [m]	l [m] / x ₂ [m]	b [m] / z ₂ [m]		q, q ₁ , f, F	q ₂	egység
1	sávós	felületen	x = 20,00	l = 20,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	sávós	felületen	x = 45,00	l = 20,00		0,00	30,00		kN/m ²

Terhek

Sz.	Név
1	ház
2	ház

Számítás beállításai

Általános	
Módszer :	Newton - Raphson
Merevségi mátrix megvált. :	minden iteráció után
Iterációk maximális száma egy számítási lépésben :	100
Kezdeti számítási lépés :	0,25
Elmozdulási hibahatár :	0,0100
Kiegyensúlyozatlan erők hibahatára :	0,0100
Energia hibahatár :	0,0100
Anyag határfelületeinek figy. vétele :	nem
Newton - Raphson	
Számítási lépés relaxációs tényezője :	2
Számítási lépés maximális relaxációinak száma :	2
Egy szám. lépés min. iterációinak száma :	1
Vonal keresés	
Számítási módszer :	iteráció nélkül
Vonalkeresési korlát - minimum :	0,100

!

Nem üzleti célú felhasználásra

!

Vonalkeresési korlát - maximum : 1,000
Plaszticitás
Hozzárend. hibák jelzése : 0,00100
Iterációk max. száma egy plaszt. lépéshez : 20

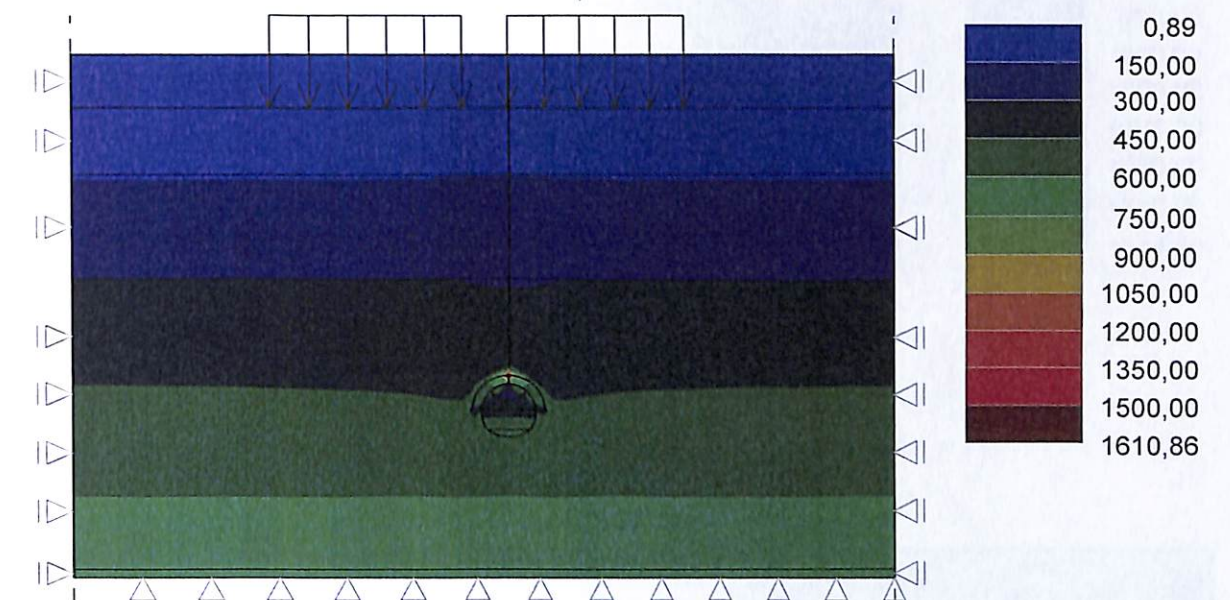
Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A feszültség számítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : **szabványos**

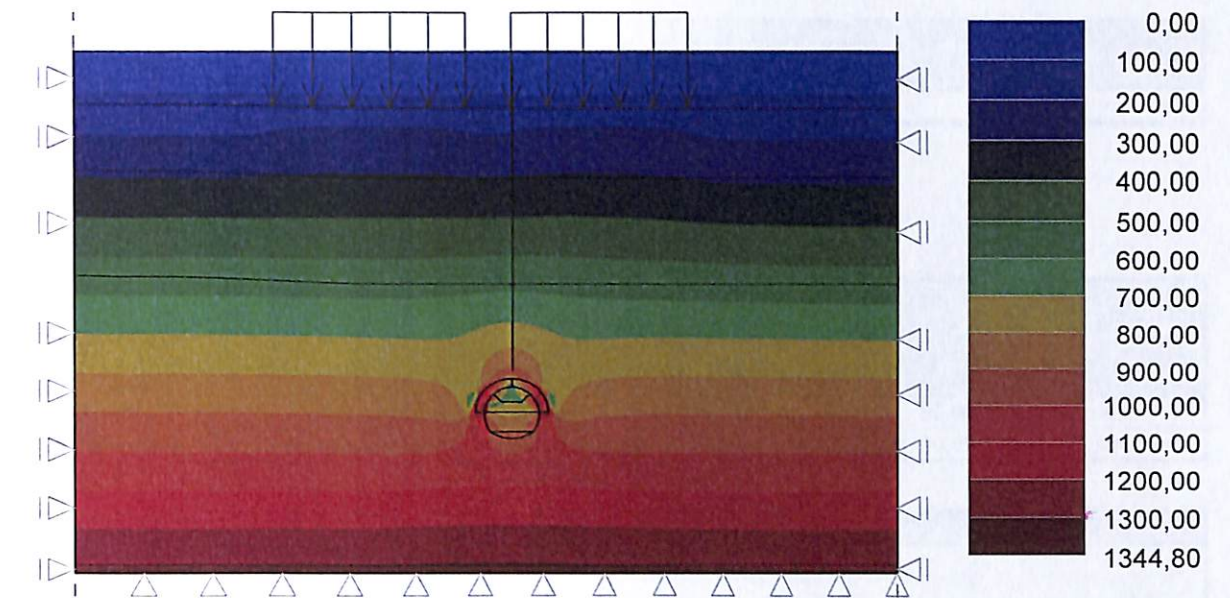
Tényleges terhelés = 100,00 %

Eredmények : általános; változó : Szigma χ_{tot} ; interv. : <0,89; 1610,86> kPa



Nem üzleti célú felhasználásra



Eredmények : általános; változó : Szigma z_{tot} ; interv. : <0,00; 1344,80> kPa**Eredmények (Kivitelezési fázis 2)**

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : szabványos

Tényleges terhelés = 100,00 %

Szélsőértékek**Elmozdulás (szélsőértékek)**

	Hely		Min	Hely		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Elmozdulás x [m]	43,37	18,35	-0,9	46,43	18,35	1,1
Elmozdulás z [m]	45,00	19,54	-9,0	45,00	21,81	5,2

Feszültség (szélsőértékek)

	Hely		Min	Hely		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Szigma z_{tot} [kPa]	40,96	60,00	0,00	47,64	21,33	2,86
Szigma z_{eff} [kPa]	40,96	60,00	0,00	47,64	21,33	2,86
Szigma x_{tot} [kPa]	45,00	21,34	2,48	45,00	22,34	8,09
Szigma x_{eff} [kPa]	45,00	21,34	2,48	45,00	22,34	8,09
Tau xz [kPa]	46,55	20,87	7,33	43,44	20,87	4,04

Alakv. (szélsőértékek)

	Hely		Min	Hely		Max
	x [m]	z [m]		x [m]	z [m]	
Epsilon $eq.$ [%]	45,00	21,81	0,01	42,00	17,86	0,69
Epsilon $eq., pl.$ [%]	0,00	53,88	0,00	46,55	20,87	0,45



Nem üzleti célú felhasználásra



Szórádi Mihály	M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
	Vizsgált szelvény: 11+50,09

Pórusvíznyomások (szélsőértékek)

	Hely		Max
	x [m]	z [m]	
Pórusvíznyomás u [kPa]	0,00	53,88	0,00

Rézsúállékonyságok

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 1)

Teher

Sz.	Típus	Hely / 1. Pont	Origó / 1. Pont	Hossz / 2. Pont	Szél. / 2. Pont	Lejtés α [°]	Intenzitás		
		z [m] / x ₁ [m]	x [m] / z ₁ [m]	l [m] / x ₂ [m]	b [m] / z ₂ [m]		q, q ₁ , f, F	q ₂	egység
1	sáv	felületen	x = 20,00	l = 20,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	sáv	felületen	x = 45,00	l = 20,00		0,00	30,00		kN/m ²

Terhek

Sz.	Név
1	ház
2	ház

Számítás beállításai

Általános

Módszer :	Newton - Raphson
Merevségi mátrix megvált. :	maradjon rugalmas
Iterációk maximális száma egy számítási lépésben :	100
Kezdeti számítási lépés :	0,25
Talajparaméterek csökkentése :	c, phi csökkentése
Kezdeti csökkentő lépés :	0,90
Elmozdulási hibahatár :	0,0100
Kiegyensúlyozatlan erők hibahatára :	0,0100
Energia hibahatár :	0,0100
Anyag határfelületeinek figy. vétele :	igen

Newton - Raphson

Számítási lépés relaxációs tényezője :	2
Számítási lépés maximális relaxációinak száma :	2
Csökkentő lépés relaxációs tényezője :	2
Csökkentő lépés maximális relaxációinak száma :	3
Minimum csökkentő lépés :	0,99

Vonal keresés

Számítási módszer :	iteráció nélkül
Vonalkeresési korlát - minimum :	0,100
Vonalkeresési korlát - maximum :	1,000

Plaszticitás

Hozzárend. hibák jelzése :	0,00100
Iterációk max. száma egy plaszt. lépéshez :	20

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

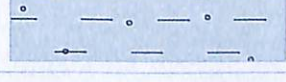
Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező $FS = 2,26$ A számítás lefutott a talajok csökk.
paramétereivel

Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	17,50	0,00
2	15,73	0,00
3	15,73	0,00
4	13,73	88,60
5	13,73	88,60
6	13,73	110,76
7	13,73	199,36
8	13,73	199,36
10	13,73	110,76
11	13,73	110,76
12	13,73	110,76
13	13,73	110,76

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 3)

Hozzárendelés és aktiválás

Sz.	Aktív / inaktív	Hozzárendelt talaj
1	Aktív	Jól osztályozott homok (SW), tömör 
2	Aktív	Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör 
3	Aktív	Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör 
4	Aktív	közepes oligocén 

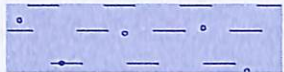


Nem üzleti célú felhasználásra



Sz.	Aktív / inaktív	Hozzárendelt talaj
5	Aktív	közepes oligocén 
6	Aktív	nem exp olig 
7	Aktív	jetgrouting 
8	Aktív	jetgrouting 
9	Inaktív	
10	Aktív	nem exp olig 
11	Aktív	nem exp olig 
12	Aktív	nem exp olig 

Szórádi Mihály	M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
	Vizsgált szelvény: 11+50,09

Sz.	Aktív / inaktív	Hozzárendelt talaj
13	Aktív	nem exp olig 

Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz ónsúly	esztmet egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Igen		1 sz. szabad vonal	0—	0—	Igen	A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv	(nincs megadv
Sz.	Keresztmetszet				Anyag					
	I _y [m ⁴ /m]		A [m ² /m]		E [MPa]		G [MPa]			
1	2,25E-03		3,00E-01		15000,00		6000,00			

Eredmények (Kivitelezési fázis 3)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : **szabványos**

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	20,52	-0,2	-15,2	0,0	-3,0
	46,55	20,87	3,2	-4,6	0,3	0,3
	46,07	21,12	4,3	0,0	0,7	0,4
	45,54	21,28	5,0	3,1	0,3	0,1
	45,00	21,34	5,2	3,1	0,2	0,1
	44,45	21,28	5,0	3,2	0,3	-0,5
	43,93	21,12	4,3	-4,9	1,0	0,5
	43,44	20,87	2,9	-9,1	0,3	-1,1
	43,02	20,52	0,1	-16,1	0,0	3,5

!	Nem üzleti célú felhasználásra	!
9		

Rézsűállékonyságok**Eredmények (Kivitelezési fázis 1)**

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,09

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	18,89	0,00
2	16,98	0,00
3	16,98	0,00
4	14,83	95,66
5	14,83	95,66
6	14,83	119,57
7	14,83	215,23
8	14,83	215,23
10	14,83	119,57
11	14,83	119,57
12	14,83	119,57
13	14,83	119,57

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 4)**Rudak**

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz. önsúly	esztmeti / egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Igen	1 sz. szabad vonal	○	○	Igen	↑ A = 3,00E-01 m ² /m; I _y = 2,25E-01 m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadva)	(nincs megadva)
Sz.	Keresztmetszet			Anyag						
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]		E [MPa]	G [MPa]					
1	2,25E-03	3,00E-01		33000,00	13750,00					

Eredmények (Kivitelezési fázis 4)

A feszültség számítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : szabványos

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Nem üzleti célú felhasználásra



Szórádi Mihály	M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút Vizsgált szelvény: 11+50,09
----------------	---

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	20,52	6,2	-171,6	0,0	34,6
	46,55	20,87	10,0	-210,2	-11,3	-25,2
	46,07	21,12	11,8	-409,9	-1,2	6,3
	45,54	21,28	12,9	-571,1	-11,4	13,2
	45,00	21,34	13,2	-659,7	-19,8	1,7
	44,45	21,28	12,9	-556,1	-10,9	-17,0
	43,93	21,12	11,8	-401,9	-2,2	-0,1
	43,44	20,87	9,8	-186,7	-12,6	21,8
	43,02	20,52	6,5	-85,0	0,0	-36,1

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,20

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	17,95	0,00
2	16,13	0,00
3	16,13	0,00
4	14,09	90,88
5	14,09	90,88
6	14,09	113,60
7	14,09	204,47
8	14,09	204,47
11	14,09	113,60
12	14,09	113,60
13	14,09	113,60

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 5)

Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	esztmet. / egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.		bal	jobb		
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○—	○—	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv

! Nem üzleti célú felhasználásra !

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	Keresztmetsz / a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
2	Igen		2 sz. szabad vonal	├─	├─	Igen	A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
3	Igen		4 sz. szabad vonal	├─	├─	Igen	A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
2	2,25E-03	3,00E-01	15000,00	6000,00
3	2,25E-03	3,00E-01	15000,00	6000,00

Eredmények (Kivitelezési fázis 5)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : **szabványos**

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	20,52	6,3	-88,2	0,0	18,7
	46,55	20,87	10,1	-214,0	-11,6	-25,2
	46,07	21,12	11,9	-415,6	-1,5	6,3
	45,54	21,28	13,0	-578,1	-11,7	13,2
	45,00	21,34	13,4	-667,2	-20,2	1,7
	44,45	21,28	13,0	-563,1	-11,2	-17,1
	43,93	21,12	11,9	-407,7	-2,5	-0,1
	43,44	20,87	9,9	-190,6	-12,9	21,8
	43,02	20,52	6,6	-44,6	0,0	-19,4
	43,02	20,52	5,5	-44,6	0,0	-19,4
2	42,70	20,15	5,0	-5,2	0,6	-0,7
	42,43	19,74	3,6	-6,9	1,0	0,0
	42,23	19,30	2,0	-3,2	0,6	0,6
	42,08	18,83	0,6	-4,0	0,3	0,7
	42,01	18,35	-0,5	-3,1	0,0	0,8
	47,99	18,35	-0,6	-2,8	0,0	-0,6
3	47,91	18,83	0,5	-3,8	0,3	-0,8
	47,77	19,30	1,9	-3,2	0,6	-0,6
	47,56	19,74	3,4	-6,8	1,0	-0,1
	47,30	20,15	4,8	-4,9	0,6	0,7
	46,98	20,52	5,2	-88,2	0,0	18,7

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,20

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	17,96	0,00
2	16,14	0,00
3	16,14	0,00
4	14,10	90,94
5	14,10	90,94
6	14,10	113,67
7	14,10	204,61
8	14,10	204,61
11	14,10	113,67
12	14,10	113,67
13	14,10	113,67

Túllépte a csökkentő lépésenkénti maximális relaxációk számát.



Nem üzleti célú felhasználásra



Adatbevitel (Kivitelezési fázis 6)

Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	Keresztmetsz egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○—	○—	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
2	Nem	Igen	2 sz. szabad vonal	├—	├—	Igen	↑ A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
3	Nem	Igen	4 sz. szabad vonal	├—	├—	Igen	↑ A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
2	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
3	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00

Eredmények (Kivitelezési fázis 6)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : szabványos

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	20,52	9,3	-761,6	0,0	20,8
	46,55	20,87	12,9	-986,0	-37,9	-4,6
	46,07	21,12	14,6	-1281,2	-36,5	10,8
	45,54	21,28	15,7	-1505,7	-48,4	15,2
	45,00	21,34	16,0	-1620,7	-57,2	1,7
	44,45	21,28	15,6	-1491,8	-47,9	-19,1
	43,93	21,12	14,5	-1275,1	-37,4	-4,3
	43,44	20,87	12,6	-967,4	-38,9	1,0
	43,02	20,52	9,5	-722,9	0,0	-22,2

! Nem üzleti célú felhasználásra !

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
2	43,02	20,52	8,0	-722,9	0,0	-22,2
	42,70	20,15	7,8	-563,7	-19,4	29,7
	42,43	19,74	6,5	-421,7	-27,7	-36,1
	42,23	19,30	5,0	-249,9	3,0	-55,9
	42,08	18,83	3,6	-3,0	21,4	28,4
	42,01	18,35	2,7	-426,5	0,0	48,9
3	47,99	18,35	2,9	-397,3	0,0	-58,5
	47,91	18,83	3,8	25,3	22,8	-27,8
	47,77	19,30	5,1	-236,1	4,2	57,0
	47,56	19,74	6,5	-413,4	-27,5	39,6
	47,30	20,15	7,8	-559,2	-19,6	-29,3
	46,98	20,52	7,9	-761,6	0,0	20,8

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 1,88

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	20,99	0,00
2	18,87	0,00
3	18,87	0,00
4	16,47	106,29
5	16,47	106,29
6	16,47	132,86
7	16,47	239,15
8	16,47	239,15
12	16,47	132,86
13	16,47	132,86

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 7)

Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz [kN/m]	esztmeti / egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	0—	0—	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv



Nem üzleti célú felhasználásra



Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	esztmet /egrádác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
2	Nem	Nem	2 sz. szabad vonal	├	├	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv
3	Nem	Nem	4 sz. szabad vonal	├	├	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv	(nincs megadv
4	Igen		10 sz. szabad vonal	├	├	Igen	A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0; m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv	(nincs megadv
5	Igen		11 sz. szabad vonal	├	├	Igen	A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0; m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv	(nincs megadv

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
2	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
3	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
4	2,25E-03	3,00E-01	15000,00	6000,00
5	2,25E-03	3,00E-01	15000,00	6000,00

Eredmények (Kivitelezési fázis 7)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : szabványos

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

! Nem üzleti célú felhasználásra !

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	20,52	9,4	-762,2	0,0	20,7
	46,55	20,87	13,0	-987,6	-38,0	-4,5
	46,07	21,12	14,7	-1283,7	-36,6	10,9
	45,54	21,28	15,8	-1508,8	-48,5	15,2
	45,00	21,34	16,1	-1624,1	-57,4	1,7
	44,45	21,28	15,7	-1495,0	-48,1	-19,1
	43,93	21,12	14,6	-1277,6	-37,6	-4,4
	43,44	20,87	12,6	-968,9	-39,0	0,9
	43,02	20,52	9,6	-723,4	0,0	-22,1
	43,02	20,52	8,1	-723,4	0,0	-22,1
2	42,70	20,15	7,9	-563,3	-19,6	29,9
	42,43	19,74	6,6	-419,7	-27,8	-36,8
	42,23	19,30	5,1	-247,4	3,4	-56,4
	42,08	18,83	3,6	0,2	22,0	29,8
	42,01	18,35	2,8	-209,6	0,5	22,7
	47,99	18,35	2,9	-195,3	0,5	-27,7
	47,91	18,83	3,8	28,6	23,4	-29,3
3	47,77	19,30	5,2	-233,0	4,6	57,4
	47,56	19,74	6,6	-411,7	-27,5	40,5
	47,30	20,15	7,8	-558,9	-19,7	-29,5
	46,98	20,52	8,0	-762,2	0,0	20,7
	42,01	18,35	1,9	-209,6	0,5	22,7
	42,00	17,86	4,6	4,1	0,5	0,7
4	42,06	17,38	6,8	2,0	0,0	0,9
	42,19	16,91	6,4	-0,1	0,3	0,3
	42,38	16,46	5,8	-1,9	0,3	-0,2
	42,63	16,04	7,3	-3,5	0,0	-1,1
	47,37	16,04	6,9	-4,3	0,0	1,2
5	47,62	16,46	7,3	-2,2	0,3	0,3
	47,81	16,91	6,7	-0,2	0,3	-0,4
	47,94	17,38	6,4	1,9	0,0	-0,9
	48,00	17,86	5,0	4,0	-0,4	-0,7
	47,99	18,35	2,1	-195,3	0,5	-27,7

Rézsúállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 1,52

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	25,92	0,00



Nem üzleti célú felhasználásra



A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
2	23,29	0,00
3	23,29	0,00
4	20,34	131,22
5	20,34	131,22
6	20,34	164,02
7	20,34	295,24
8	20,34	295,24
12	20,34	164,02
13	20,34	164,02

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 8)

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesztés / egységnyi területre [kN/m²]	Anyag / Rúdtelep jellegű aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.			bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	—	—	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)
2	Nem	Nem	2 sz. szabad vonal	—	—	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)
3	Nem	Nem	4 sz. szabad vonal	—	—	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)
4	Nem	Igen	10 sz. szabad vonal	—	—	Igen	↑ A = 3,00E-03 m²/m; I _y = 2,25E-03 m⁴/m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)
5	Nem	Igen	11 sz. szabad vonal	—	—	Igen	↑ A = 3,00E-03 m²/m; I _y = 2,25E-03 m⁴/m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m⁴/m]	A [m²/m]	E [MPa]	G [MPa]
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
2	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
3	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
4	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00

Szórádi Mihály	M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
	Vizsgált szelvény: 11+50,09

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
5	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00

Eredmények (Kivitelezési fázis 8)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : szabványos

Tényleges terhelés = 100,00 %

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	20,52	9,4	-796,8	0,0	20,9
	46,55	20,87	13,0	-1025,4	-39,2	-3,7
	46,07	21,12	14,7	-1324,7	-38,1	11,1
	45,54	21,28	15,7	-1551,8	-50,1	15,3
	45,00	21,34	16,1	-1667,9	-59,0	1,7
	44,45	21,28	15,7	-1537,8	-49,7	-19,2
	43,93	21,12	14,6	-1318,3	-39,1	-4,5
	43,44	20,87	12,6	-1006,3	-40,2	0,1
	43,02	20,52	9,6	-757,7	0,0	-22,3
2	43,02	20,52	8,1	-757,7	0,0	-22,3
	42,70	20,15	7,9	-593,0	-20,3	30,9
	42,43	19,74	6,6	-445,4	-29,3	-35,4
	42,23	19,30	5,2	-271,2	1,0	-53,1
	42,08	18,83	3,8	-26,6	17,0	42,2
	42,01	18,35	2,9	-238,9	-6,7	17,9
3	47,99	18,35	3,0	-224,6	-6,7	-24,1
	47,91	18,83	3,9	2,2	18,5	-40,7
	47,77	19,30	5,2	-255,5	2,4	53,9
	47,56	19,74	6,6	-437,1	-28,7	39,3
	47,30	20,15	7,9	-588,7	-20,4	-30,3
	46,98	20,52	8,0	-796,8	0,0	20,9
4	42,01	18,35	2,1	-238,9	-6,7	17,9
	42,00	17,86	4,8	3,5	-6,0	-0,9
	42,06	17,38	7,2	5,6	6,0	0,8
	42,19	16,91	6,8	9,0	5,7	-1,5
	42,38	16,46	6,4	5,3	3,0	-8,0
	42,63	16,04	8,0	-6,5	0,0	-5,6
5	47,37	16,04	7,5	15,3	0,0	11,8
	47,62	16,46	7,8	14,4	3,6	3,3
	47,81	16,91	7,1	8,0	4,9	2,1
	47,94	17,38	6,7	2,8	5,6	0,4
	48,00	17,86	5,2	0,7	6,0	0,8
	47,99	18,35	2,2	-224,6	-6,7	-24,1

! Nem üzleti célú felhasználásra !

Rézsúállékonyságok**Eredmények (Kivitelezési fázis 1)**

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 1,56

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	25,27	0,00
2	22,71	0,00
3	22,71	0,00
4	19,83	127,94
5	19,83	127,94
6	19,83	159,92
7	19,83	287,86
8	19,83	287,86
13	19,83	159,92

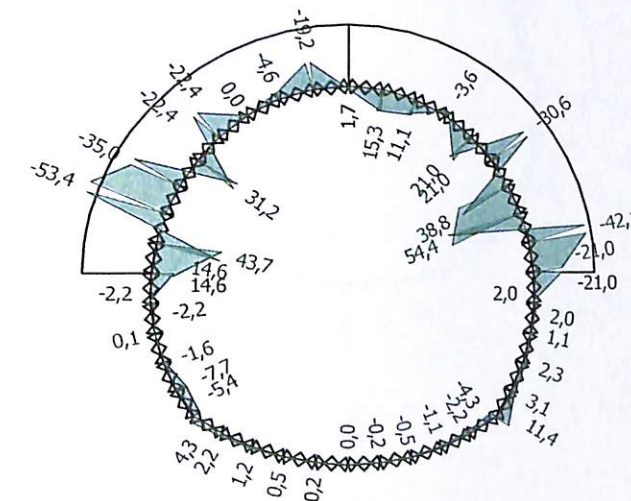
Eredmények (Kivitelezési fázis 9)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : szabványos

Tényleges terhelés = 100,00 %

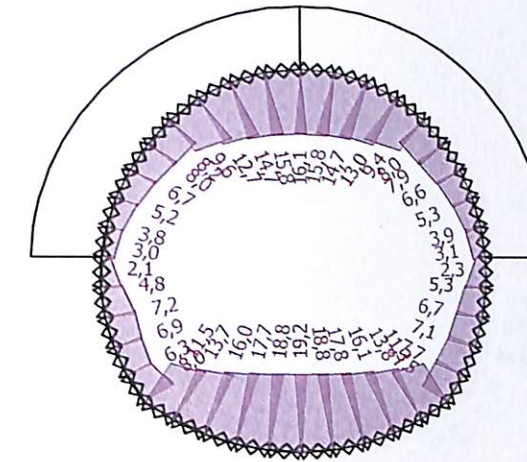
Q [kN/m]



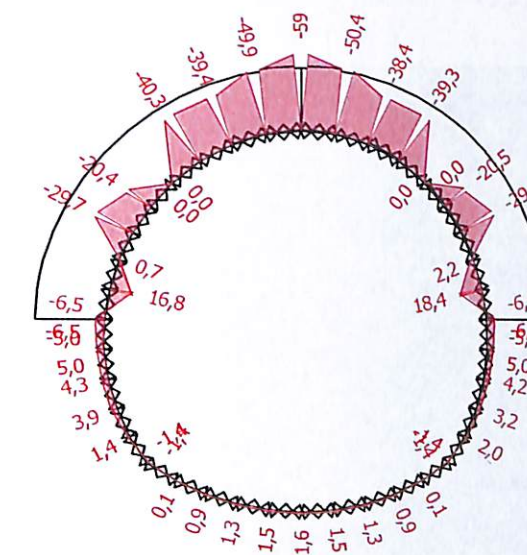
Nem üzleti célú felhasználásra



D [mm]



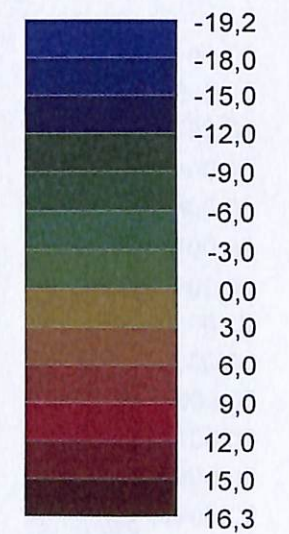
M [kNm/m]



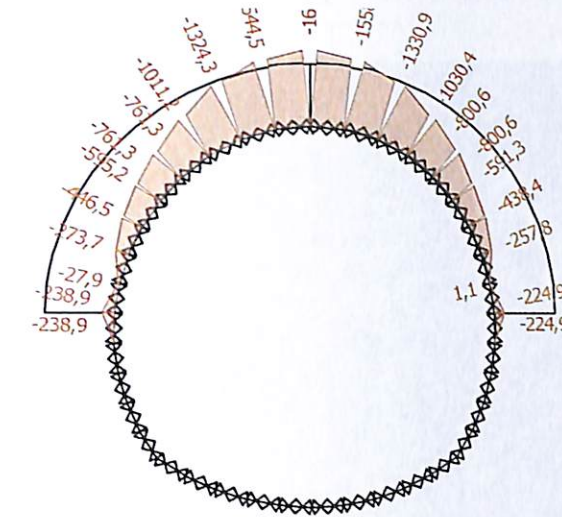
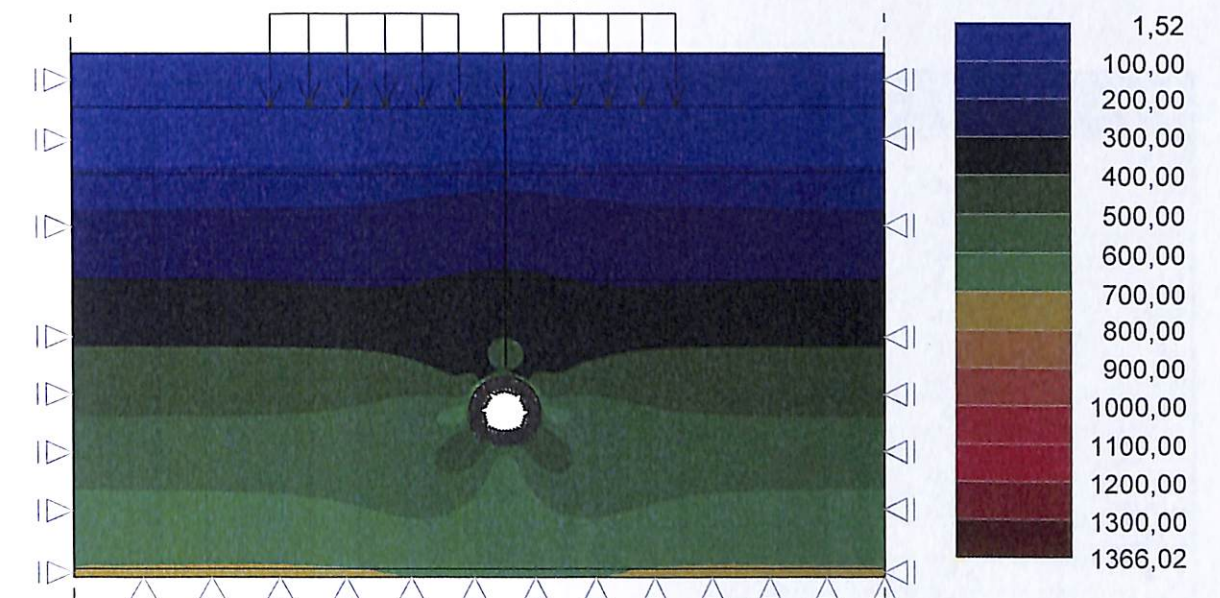
Nem üzleti célú felhasználásra



1	1,11,11,21,51,82,22,73,33,84,34,74,94,84,54,13,53,02,52,01,61,31,21	1
2	0,80,91,01,31,72,12,73,33,94,54,95,15,14,74,27,65,02,41,91,51,21,00	9
3	0,70,80,91,21,52,02,63,34,04,75,25,45,34,94,43,73,02,31,81,31,00,80	7
4	0,60,70,81,11,52,02,63,34,14,85,45,65,65,14,43,72,92,21,71,20,90,70	6
5	0,50,60,71,01,31,82,53,34,15,05,70,05,95,44,63,72,82,11,61,10,80,60	5
6	0,40,50,60,81,21,72,33,24,15,16,06,56,35,64,63,62,72,01,41,00,70,50	4
7	0,30,40,50,71,11,52,12,94,05,36,51,27,05,94,63,42,51,81,30,90,60,40	3
8	0,30,30,40,60,91,31,92,63,75,37,18,47,96,24,43,12,21,61,10,80,50,40	3
9	0,20,30,40,60,81,21,62,33,35,07,60,00,16,24,02,71,91,41,00,70,50,30	3
10	0,20,30,40,50,81,11,52,02,74,17,05,10,64,32,23,17,130,90,60,40,30	2
11	0,20,30,30,50,71,01,41,82,33,05,27,05,13,72,62,11,61,20,90,60,40,30	2
12	0,20,20,30,50,71,01,31,72,12,30,47,07,71,92,21,91,51,10,80,60,40,30	2
13	0,20,20,30,40,60,81,11,41,60,97,07,76,50,31,41,51,31,00,70,50,30,20	2
14	0,20,20,20,30,40,60,80,90,80,04,24,44,73,81,10,50,90,90,70,50,40,30	2
15	0,10,10,10,20,20,30,40,40,30,03,12,01,40,70,10,40,40,30,30,20,20,10	1
16	0,00,00,00,00,00,10,10,00,00,00,10,20,30,30,00,00,00,10,10,00,00,00	0

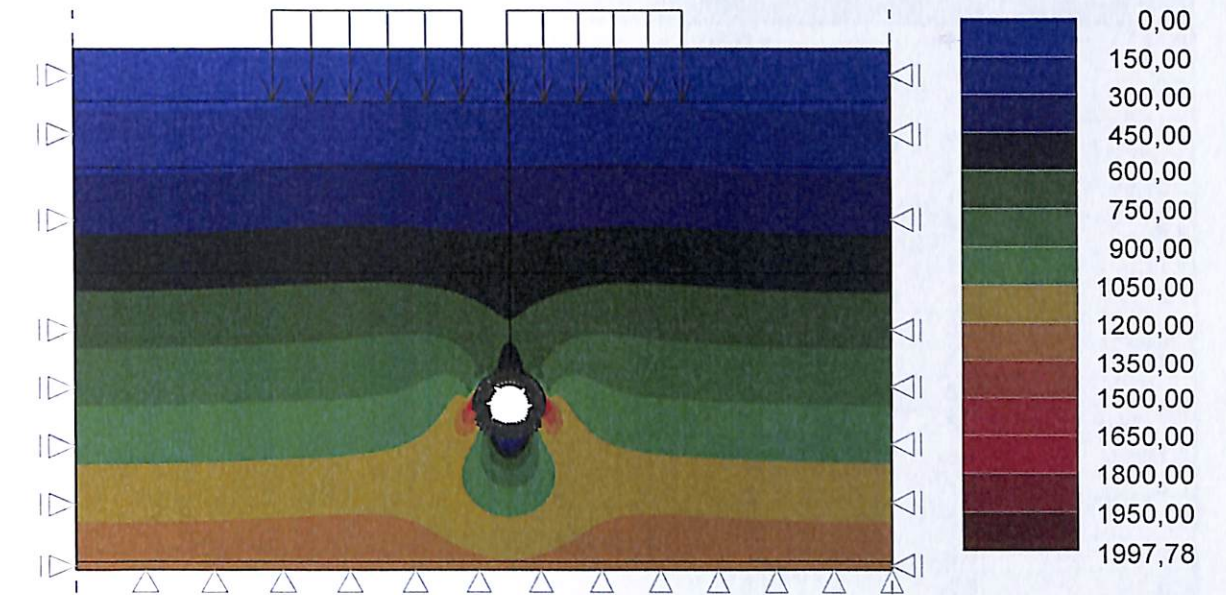


N+ [kN/m]

Eredmények : általános; változó : Szigma χ_{tot} ; interv. : <1,52; 1366,02> kPa

Nem üzleti célú felhasználásra



Eredmények : általános; változó : Szigma σ_z , tot.; interv. : <0,00; 1997,78> kPa

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
1	46,98	20,52	9,4	-800,6	0,0	21,0
	46,55	20,87	13,0	-1030,4	-39,3	-3,6
	46,07	21,12	14,7	-1330,9	-38,4	11,1
	45,54	21,28	15,8	-1558,6	-50,4	15,3
	45,00	21,34	16,1	-1674,9	-59,3	1,7
	44,45	21,28	15,8	-1544,5	-49,9	-19,2
	43,93	21,12	14,7	-1324,3	-39,4	-4,6
	43,44	20,87	12,7	-1011,2	-40,3	0,0
2	43,02	20,52	9,6	-761,3	0,0	-22,4
	43,02	20,52	8,2	-761,3	0,0	-22,4
	42,70	20,15	8,0	-595,2	-20,4	31,2
	42,43	19,74	6,7	-446,5	-29,7	-35,0
	42,23	19,30	5,2	-273,7	0,7	-53,4
	42,08	18,83	3,8	-27,9	16,8	43,7
3	42,01	18,35	3,0	-238,9	-6,5	14,6
	47,99	18,35	3,1	-224,9	-6,5	-21,0
	47,91	18,83	3,9	1,1	18,4	-42,1
	47,77	19,30	5,3	-257,8	2,2	54,4
	47,56	19,74	6,6	-438,4	-29,1	38,8
	47,30	20,15	7,9	-591,3	-20,5	-30,6
	46,98	20,52	8,0	-800,6	0,0	21,0



Nem üzleti célú felhasználásra



Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
4	42,01	18,35	2,1	-238,9	-6,5	14,6
	42,00	17,86	4,8	8,6	-5,0	-2,2
	42,06	17,38	7,2	11,6	4,3	0,1
	42,19	16,91	6,9	15,8	3,9	-1,6
	42,38	16,46	6,3	12,9	1,4	-7,7
	42,63	16,04	8,0	2,7	-1,4	-5,4
	47,37	16,04	7,5	23,8	-1,4	11,4
5	47,62	16,46	7,7	22,3	2,0	3,1
	47,81	16,91	7,1	14,6	3,2	2,3
	47,94	17,38	6,7	8,4	4,2	1,1
	48,00	17,86	5,3	5,3	5,0	2,0
	47,99	18,35	2,3	-224,9	-6,5	-21,0
	42,63	16,04	11,5	8,7	-1,4	4,3
	43,05	15,76	13,7	6,7	0,1	2,2
6	43,51	15,55	16,0	5,0	0,9	1,2
	43,99	15,39	17,7	3,8	1,3	0,5
	44,49	15,29	18,8	3,1	1,5	0,2
	45,00	15,26	19,2	2,8	1,6	0,0
	45,50	15,29	18,8	3,1	1,5	-0,2
	46,00	15,39	17,8	3,8	1,3	-0,5
	46,48	15,55	16,1	5,0	0,9	-1,1
	46,94	15,76	13,8	6,7	0,1	-2,2
	47,37	16,04	11,3	8,6	-1,4	-4,3

Rézszűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézszűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 4,86

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ _{ef} [°]	c _{ef} [kPa]
1	8,13	0,00
2	7,31	0,00
3	7,31	0,00
4	6,38	41,18
5	6,38	41,18
6	6,38	51,47
7	6,38	92,65
8	6,38	92,65
13	6,38	51,47

Számítás végeselem módszerrel

Topológia

Projekt

Munka : M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
Rész : Vizsgált szelvény: 13+15,23
Leírás : Részletes dokumentáció
Dátum : 2015.05.05.

Globális beállítások

Projekt típusa : Síkbeli alakv.
Számítás típusa : Feszültség
Alagutak : igen
Bővített adatbevitel : nem
Részletes eredmények : igen
Beton szerkezetek : EN 1992-1-1 (EC2)

Talajparaméterek - alapadatok

Sz.	Név	Minta	γ [kN/m³]	E [MPa]	v [-]
1	Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör		19,00	80,00	0,25
2	Jól osztályozott homok (SW), tömör		20,00	20,00	0,28
3	Homokos agyag (CS), konzisztencia kemény		18,50	12,00	0,35
4	közepes oligocén		21,00	150,00	0,35
5	nem exp olig		22,00	220,00	0,35
6	jetgrouting		22,00	10000,00	0,20

Talajparaméterek - adatok a modellnek megfelelően

Sz.	Anyagmodell	c _{ef} [kPa]	φ _{ef} [°]	ψ [°]
1	Mohr - Coulomb	0,00	35,50	0,00
2	Mohr - Coulomb	0,00	39,50	0,00
3	Mohr - Coulomb	14,00	24,50	0,00
4	Mohr - Coulomb	200,00	31,00	0,00
5	Mohr - Coulomb	250,00	31,00	0,00

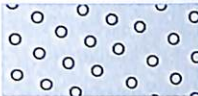
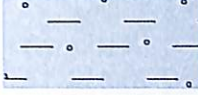
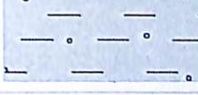
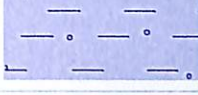
!

Nem üzleti célú felhasználásra

!

Sz.	Anyagmodell	c_{ef} [kPa]	φ_{ef} [°]	ψ [°]
6	Mohr - Coulomb	450,00	31,00	0,00

Talajparaméterek - felhajtóerő

Sz.	Név	Minta	γ_{sat} [kN/m³]	γ_s [kN/m³]	n [-]
1	Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör		20,00		
2	Jól osztályozott homok (SW), tömör		21,00		
3	Homokos agyag (CS), konzisztencia kemény		21,00		
4	közepes oligocén		22,00		
5	nem exp olig		23,00		
6	jetgrouting		22,00		

Talajparaméterek

Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 19,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,25$
Rug. modulus : $E = 80,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 35,50^\circ$
Talaj kohézió : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$

Jól osztályozott homok (SW), tömör

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 20,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,28$
Rug. modulus : $E = 20,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{ef} = 39,50^\circ$
Talaj kohézió : $c_{ef} = 0,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$

Telített térfogatsúly : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$ **Homokos agyag (CS), konzisztencia kemény**

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 18,50 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,35$
Rug. modulus : $E = 12,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{\text{ef}} = 24,50^\circ$
Talaj kohézió : $c_{\text{ef}} = 14,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{\text{sat}} = 21,00 \text{ kN/m}^3$

közepes oligocén

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 21,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,35$
Rug. modulus : $E = 150,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{\text{ef}} = 31,00^\circ$
Talaj kohézió : $c_{\text{ef}} = 200,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{\text{sat}} = 22,00 \text{ kN/m}^3$

nem exp olig

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 22,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,35$
Rug. modulus : $E = 220,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{\text{ef}} = 31,00^\circ$
Talaj kohézió : $c_{\text{ef}} = 250,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{\text{sat}} = 23,00 \text{ kN/m}^3$

jetgrouting

Anyagmodell : Mohr - Coulomb
Térfogatsúly : $\gamma = 22,00 \text{ kN/m}^3$
Poisson tényező : $\nu = 0,20$
Rug. modulus : $E = 10000,00 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög : $\varphi_{\text{ef}} = 31,00^\circ$
Talaj kohézió : $c_{\text{ef}} = 450,00 \text{ kPa}$
Delta szög : $\psi = 0,00^\circ$
Telített térfogatsúly : $\gamma_{\text{sat}} = 22,00 \text{ kN/m}^3$



Nem üzleti célú felhasználásra



Hozzárendelések és felületek

Sz.	Felszín pozíciója	Felszín pontjainak koordinátái [m]				Hozzárendelt talaj
		x	z	x	z	
1		90,00	53,21	90,00	60,00	Jól osztályozott homok (SW), tömör
		0,00	60,00	0,00	53,21	
2		90,00	45,45	90,00	53,21	Kavics kevés finomszemcsével (G-F), tömör
		0,00	53,21	0,00	45,45	
3		90,00	30,10	90,00	45,45	közepes oligocén
		0,00	45,45	0,00	30,10	
4		90,00	0,00	90,00	30,10	nem exp olig
		0,00	30,10	0,00	0,00	
5		0,00	0,00	0,00	-3,00	nem exp olig
		90,00	-3,00	90,00	0,00	

Vonalak sűrítése

Sz.	Hely	Sugár r [m]	Hossz l [m]
1	17 sz. szabad vonal	18,00	0,50
2	1 sz. szabad vonal	1,00	0,50
3	2 sz. szabad vonal	1,00	0,50
4	3 sz. szabad vonal	1,00	0,50
5	4 sz. szabad vonal	1,00	0,50
6	10 sz. szabad vonal	1,00	0,50
7	11 sz. szabad vonal	1,00	0,50
8	16 sz. szabad vonal	1,50	0,50

Hálógenerálás

Hálógenerálás paraméterei

Élhossz : 1,50 [m]
Hálósűrítés : igen

! Nem üzleti célú felhasználásra !

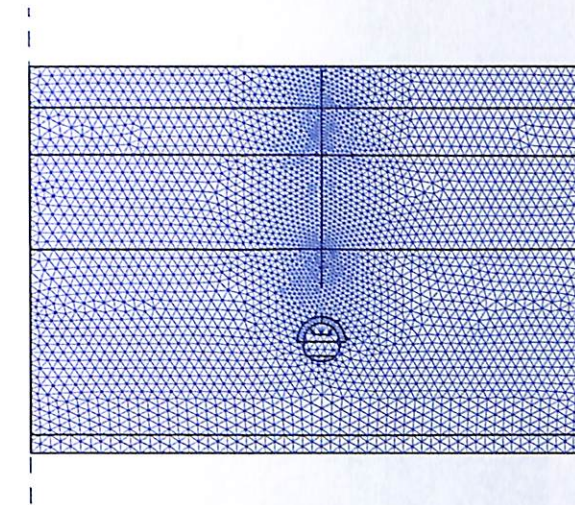
Többcsomópontú elemek generálása : igen

Hálógenerálás eredménye

A végelelemháló sikeresen elkészült.

Csomópontok száma 17530

Elemek száma 9899 (régió 7351, rúd 637, felület 1911)

**Adatbevitel (Kivitelezési fázis 1)****Teher**

Sz.	Típus	Hely / 1. Pont	Origó / 1. Pont	Hossz / 2. Pont	Szél. / 2. Pont	Lejtés α [°]	Intenzitás		
		z [m] / x ₁ [m]	x [m] / z ₁ [m]	l [m] / x ₂ [m]	b [m] / z ₂ [m]		q, q ₁ , f, F	q ₂	egység
1	sávós	z = 58,00	x = 15,00	l = 20,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	sávós	z = 58,00	x = 45,00	l = 25,00		0,00	30,00		kN/m ²

Víz

Víz típusa : Nincs víz

Számítás beállításai**Általános**

Módszer :

Newton - Raphson
minden iteráció után

Merevségi mátrix megvált. :

100

Iterációk maximális száma egy számítási lépésben :

0,25

Kezdeti számítási lépés :

0,0100

Elmozdulási hibahatár :

0,0100

Kiegyensúlyozatlan erők hibahatára :

0,0100

Energia hibahatár :

nem

Anyag határfelületeinek figy. vétele :

Newton - Raphson

Számítási lépés relaxációs tényezője :

2

Számítási lépés maximális relaxációinak száma :

2

Egy szám. lépés min. iterációinak száma :

1

Vonal keresés

Nem üzleti célú felhasználásra



Számítási módszer : iteráció nélkül
Vonalkeresési korlát - minimum : 0,100
Vonalkeresési korlát - maximum : 1,000
Plaszticitás
Hozzárend. hibák jelzése : 0,00100
Iterációk max. száma egy plaszt. lépéshez : 20

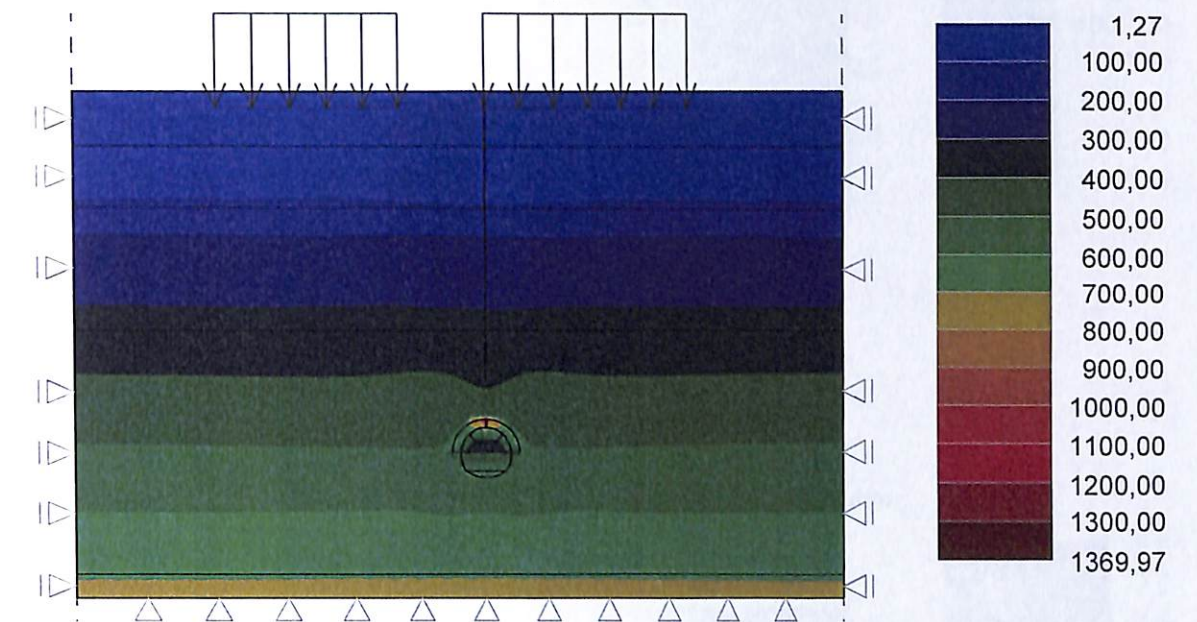
Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

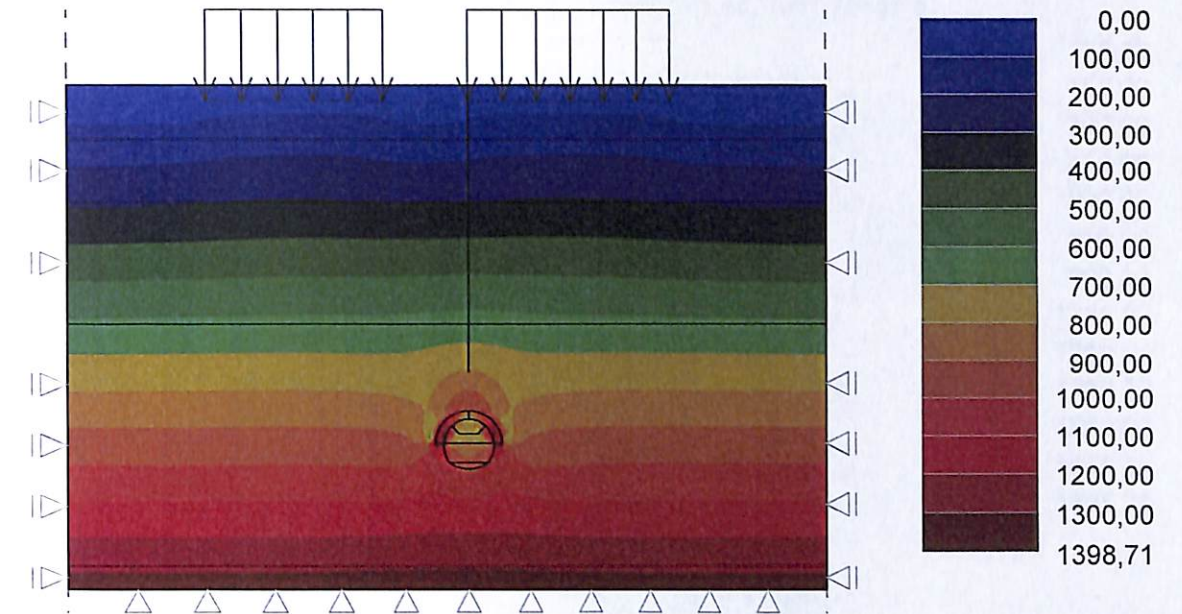
A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

Számítás beállításai : szabványos

Tényleges terhelés = 100,00 %

Eredmények : általános; változó : $\sigma_{x, tot.}$; interv. : <1,27; 1369,97> kPa

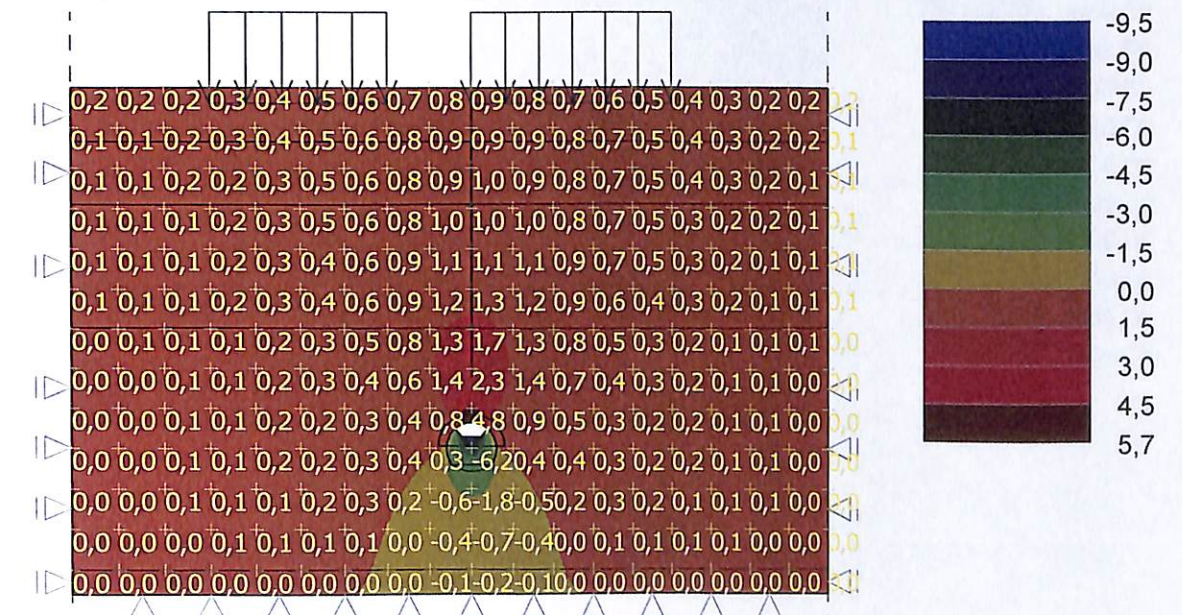


Eredmények : általános; változó : Szigma Σ_{tot} ; interv. : <0,00; 1398,71> kPa**Adatbevitel (Kivitelezési fázis 2)****Eredmények (Kivitelezési fázis 2)**

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

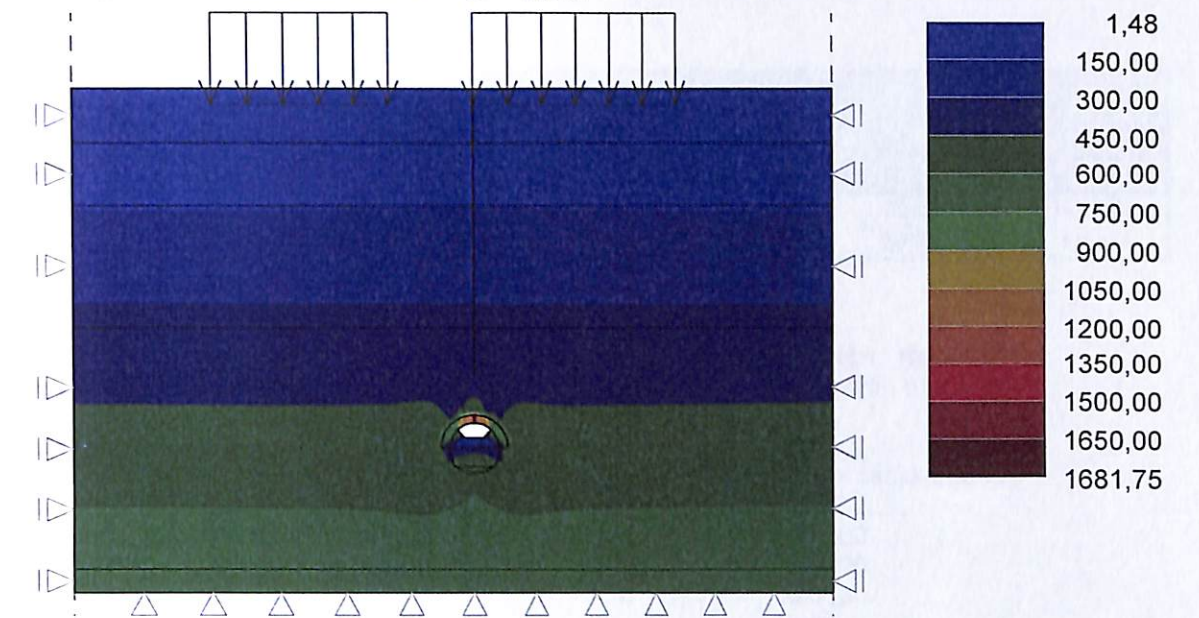
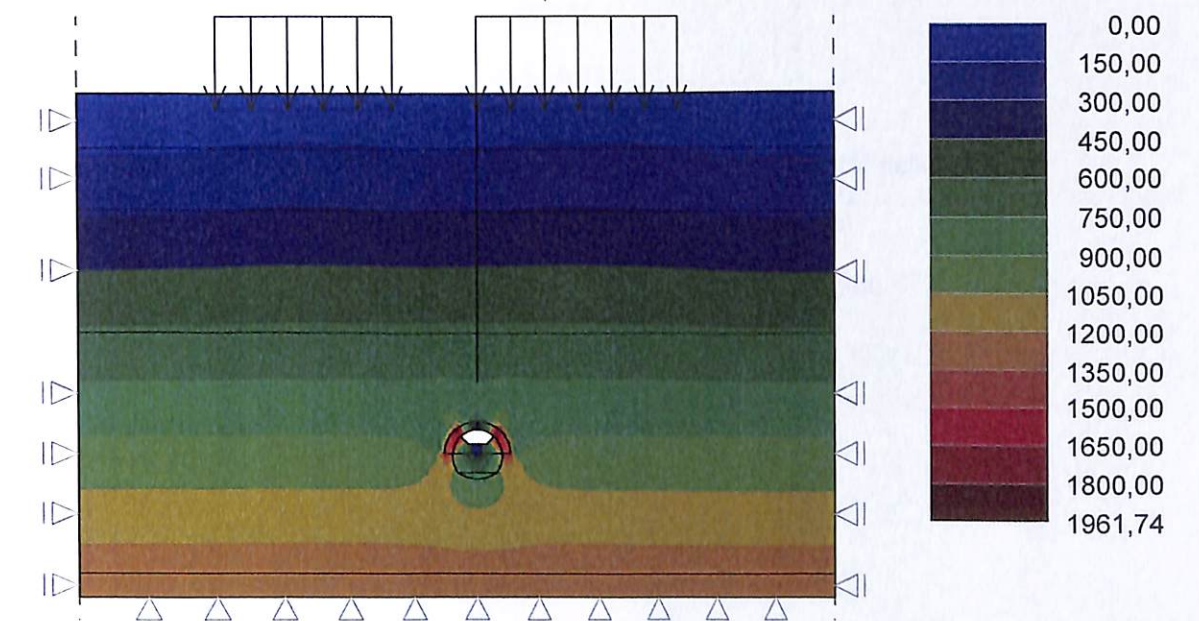
Számítás beállításai : szabványos

Tényleges terhelés = 100,00 %

Eredmények : általános; változó : Süllyedés d_z ; interv. : <-9,5; 5,7> mm

Nem üzleti célú felhasználásra



Eredmények : általános; változó : Szigma χ_{tot} ; interv. : <1,48; 1681,75> kPaEredmények : általános; változó : Szigma z_{tot} ; interv. : <0,00; 1961,74> kPa

Nem üzleti célú felhasználásra



Rézsúállékonyságok

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 1)

Teher

Sz.	Típus	Hely / 1. Pont	Origó / 1. Pont	Hossz / 2. Pont	Szél. / 2. Pont	Lejtés α [°]	Intenzitás		
		z [m] / x ₁ [m]	x [m] / z ₁ [m]	l [m] / x ₂ [m]	b [m] / z ₂ [m]		q, q ₁ , f, F	q ₂	egység
1	sáv	z = 58,00	x = 15,00	l = 20,00		0,00	30,00		kN/m ²
2	sáv	z = 58,00	x = 45,00	l = 25,00		0,00	30,00		kN/m ²

Számítás beállításai

Általános

Módszer :	Newton - Raphson
Merevségi mátrix megvált. :	maradjon rugalmas
Iterációk maximális száma egy számítási lépésben :	100
Kezdeti számítási lépés :	0,25
Talajparaméterek csökkentése :	c, phi csökkentése
Kezdeti csökkentő lépés :	0,90
Elmozdulási hibahatár :	0,0100
Kiegyensúlyozatlan erők hibahatára :	0,0100
Energia hibahatár :	0,0100
Anyag határfelületeinek figy. vétele :	igen

Newton - Raphson

Számítási lépés relaxációs tényezője :	2
Számítási lépés maximális relaxációinak száma :	2
Csökkentő lépés relaxációs tényezője :	2
Csökkentő lépés maximális relaxációinak száma :	3
Minimum csökkentő lépés :	0,99

Vonal keresés

Számítási módszer :	iteráció nélkül
Vonalkeresési korlát - minimum :	0,100
Vonalkeresési korlát - maximum :	1,000

Plaszticitás

Hozzárend. hibák jelzése :	0,00100
Iterációk max. száma egy plaszt. lépéshez :	20

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,09

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c _{ef} [kPa]
1	18,89	0,00
2	16,98	0,00
3	16,98	0,00
4	14,83	95,66



Nem üzleti célú felhasználásra



A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
5	14,83	95,66
6	14,83	119,57
7	14,83	215,23
8	14,83	215,23
10	14,83	119,57
11	14,83	119,57
12	14,83	119,57
13	14,83	119,57

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 3)

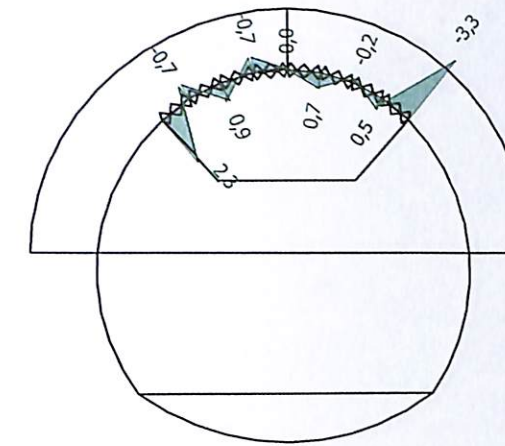
Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesztés ónsúly	esztmetés / egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Igen		1 sz. szabad vonal	○—	○—	Igen	A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
Sz.	Keresztmetszet				Anyag					
	I _y [m ⁴ /m]		A [m ² /m]		E [MPa]		G [MPa]			
1	2,25E-03		3,00E-01		15000,00		6000,00			

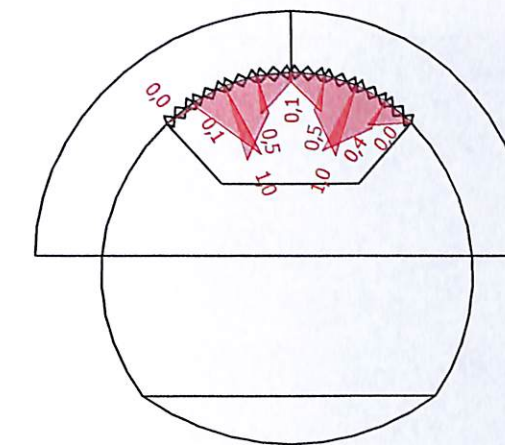
Eredmények (Kivitelezési fázis 3)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : **szabványos**
Tényleges terhelés = 100,00 %

Q [kN/m]



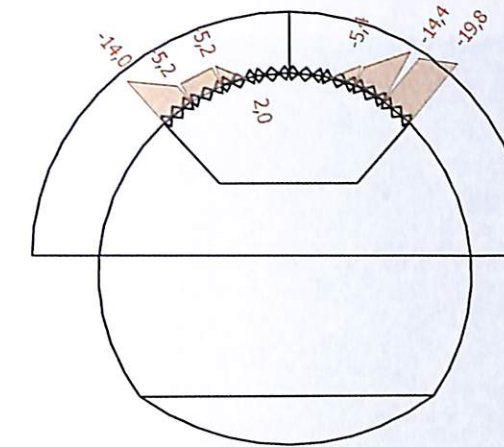
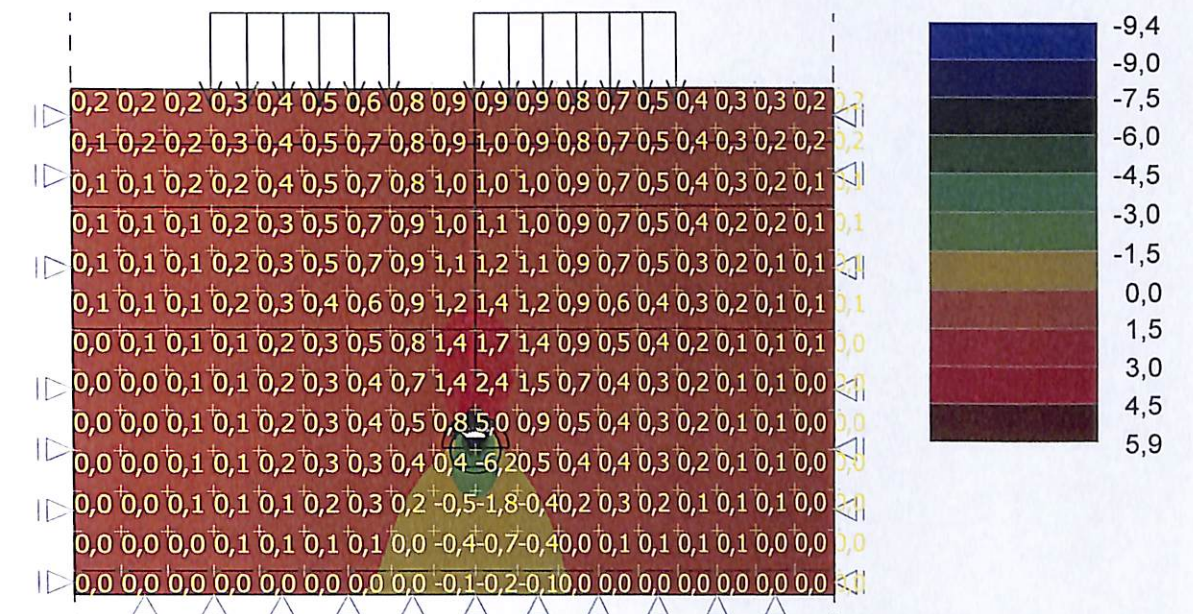
M [kNm/m]



Nem üzleti célú felhasználásra

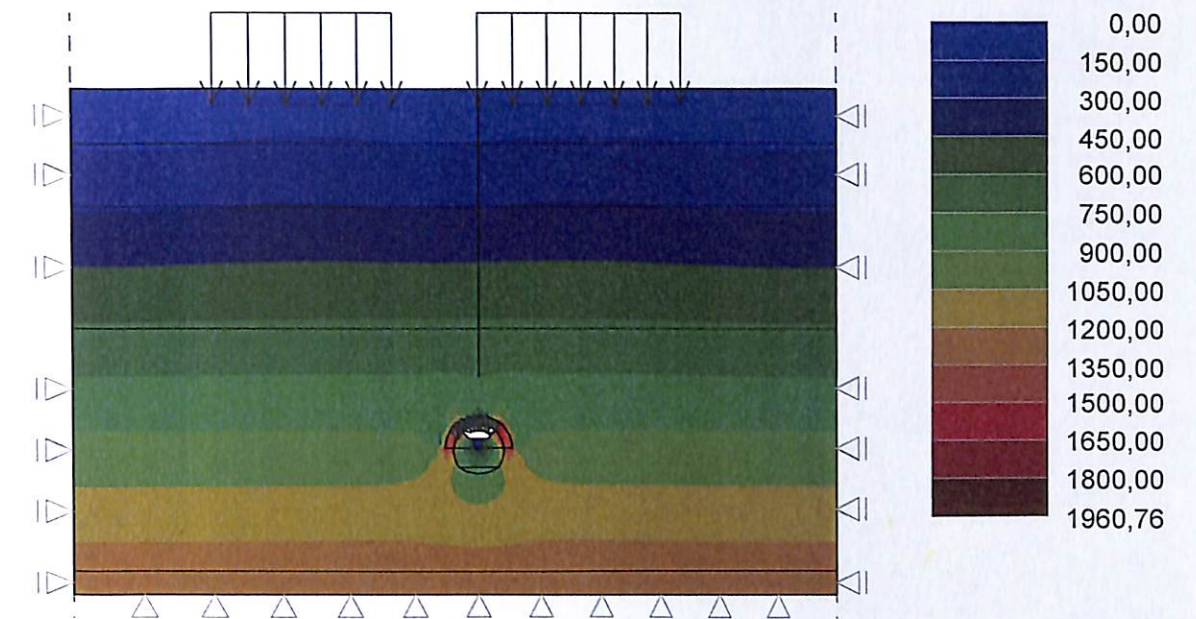


N+ [kN/m]

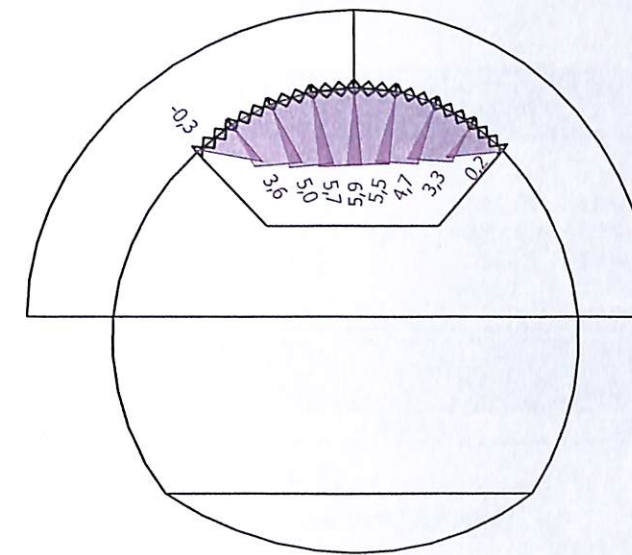
Eredmények : általános; változó : Süllyedés d_z; interv. : <-9,4; 5,9> mm

Nem üzleti célú felhasználásra



Eredmények : általános; változó : Szigma σ_{tot} ; interv. : <0,00; 1960,76> kPa

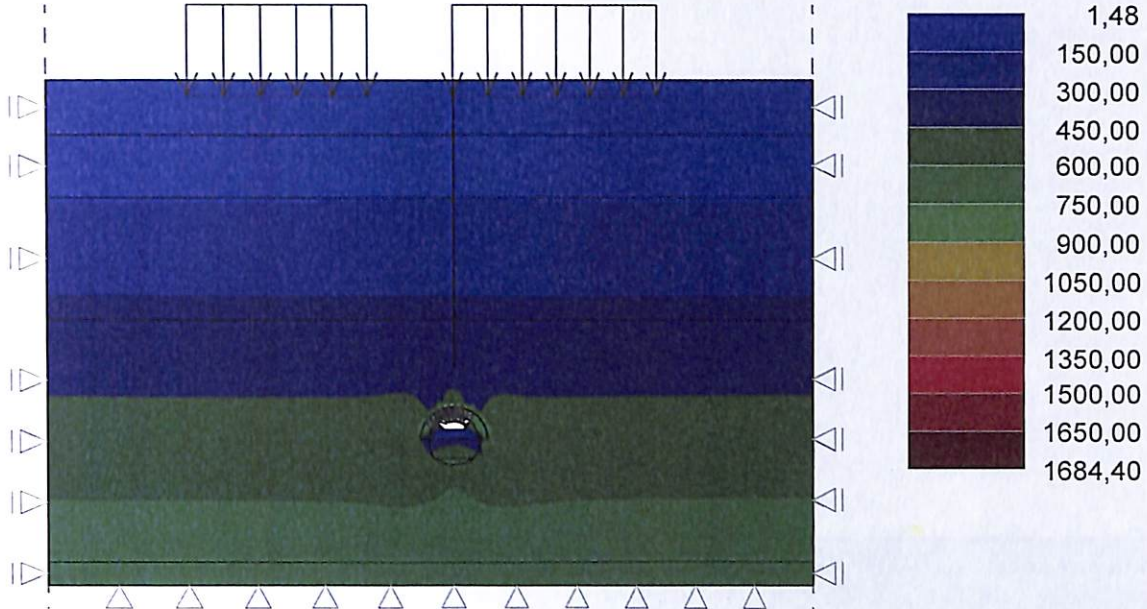
D [mm]



Nem üzleti célú felhasználásra



Eredmények : általános; változó : Szigma χ_{tot} ; interv. : <1,48; 1684,40> kPa



Rézsúállékonyságok

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 1)

Rudak

Sz.	Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	eresztmetsz	Anyag	Kapcsolatok	
		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	1 sz. szabad vonal	○	○	Igen	A = 3,00E-01 m ² /m; I _y = 2,25E-03 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,00 MPa; G = 6000,00 MPa; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadva)	(nincs megadva)
Sz.	Keresztmetszet				Anyag			
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]			E [MPa]	G [MPa]		
1	2,25E-03	3,00E-01			15000,00	6000,00		

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,09

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ _{ef} [°]	c _{ef} [kPa]
1	18,89	0,00
2	16,98	0,00

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
3	16,98	0,00
4	14,83	95,66
5	14,83	95,66
6	14,83	119,57
7	14,83	215,23
8	14,83	215,23
10	14,83	119,57
11	14,83	119,57
12	14,83	119,57
13	14,83	119,57

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 4)

Rudak

Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz / ónsúly	esztmet / egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Igen	1 sz. szabad vonal	O—	O—	Igen	↑ A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0; m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv	(nincs megadv
Sz.	Keresztmetszet				Anyag					
	I _y [m ⁴ /m]		A [m ² /m]		E [MPa]		G [MPa]			
1	2,25E-03		3,00E-01		33000,00		13750,00			

Eredmények (Kivitelezési fázis 4)

A feszültség számítás sikeresen lefutott.

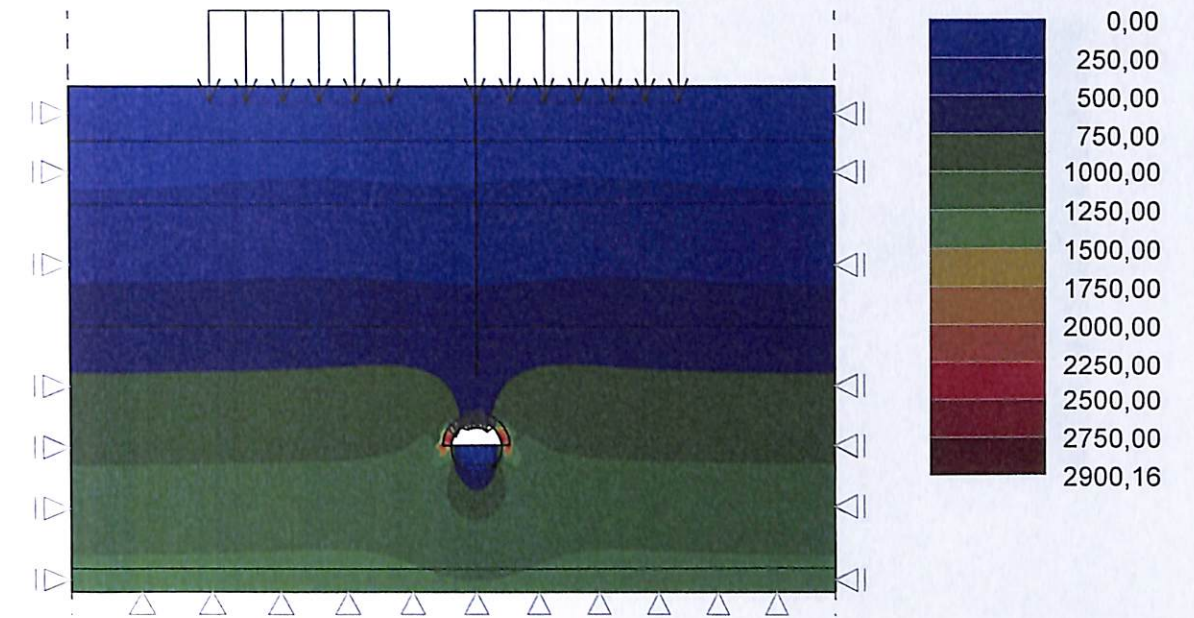
Számítás beállításai : szabványos

Tényleges terhelés = 100,00 %

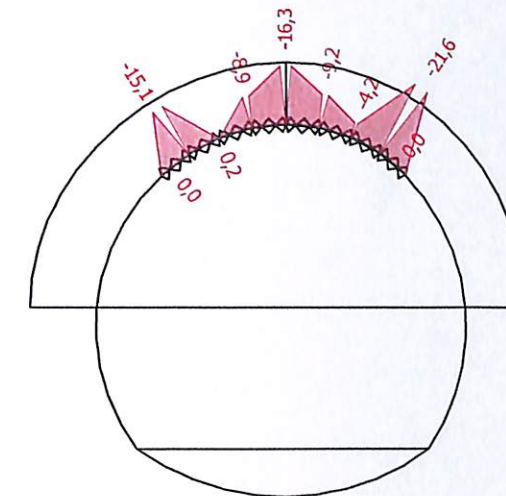


Nem üzleti célú felhasználásra



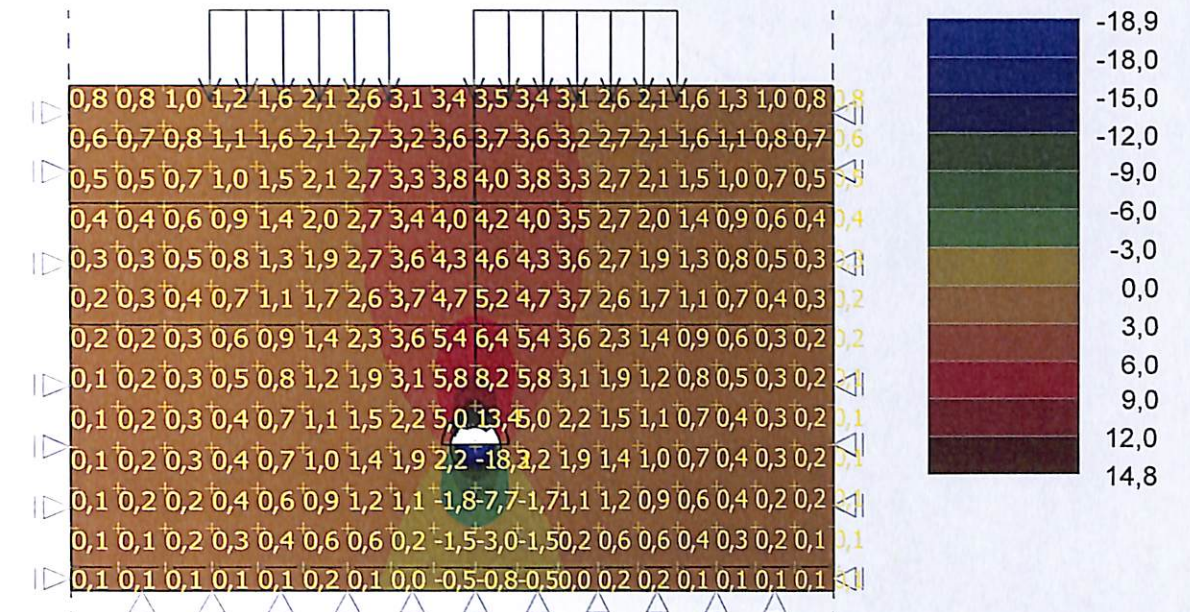
Eredmények : általános; változó : Szigma Σ_{tot} ; interv. : <0,00; 2900,16> kPa

M [kNm/m]

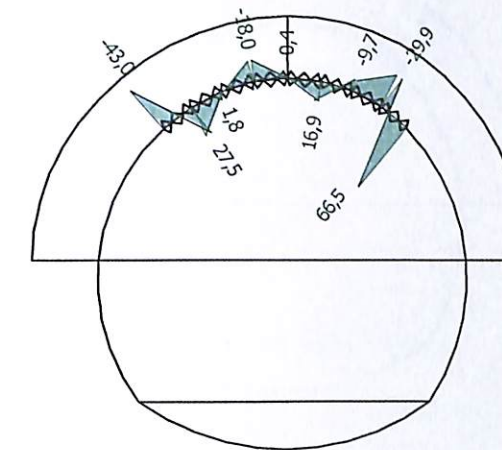


Nem üzleti célú felhasználásra



Eredmények : általános; változó : Süllyedés d_z ; interv. : <-18,9; 14,8> mm

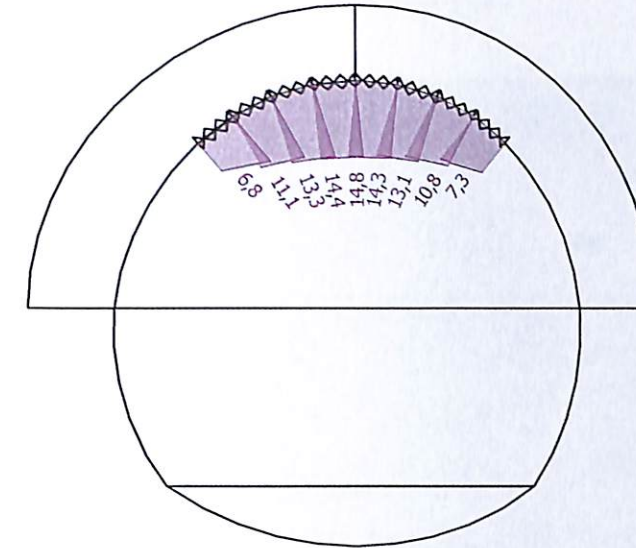
Q [kN/m]



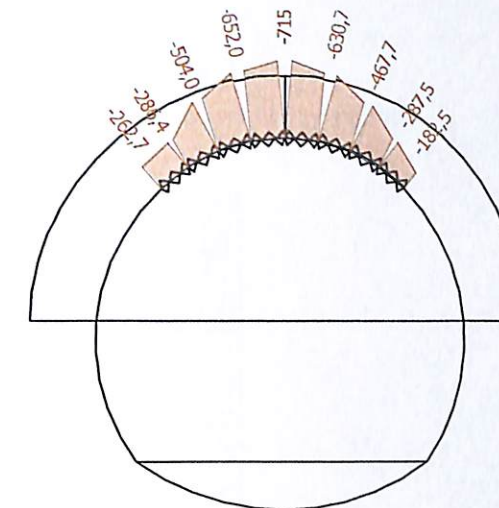
Nem üzleti célú felhasználásra



D [mm]

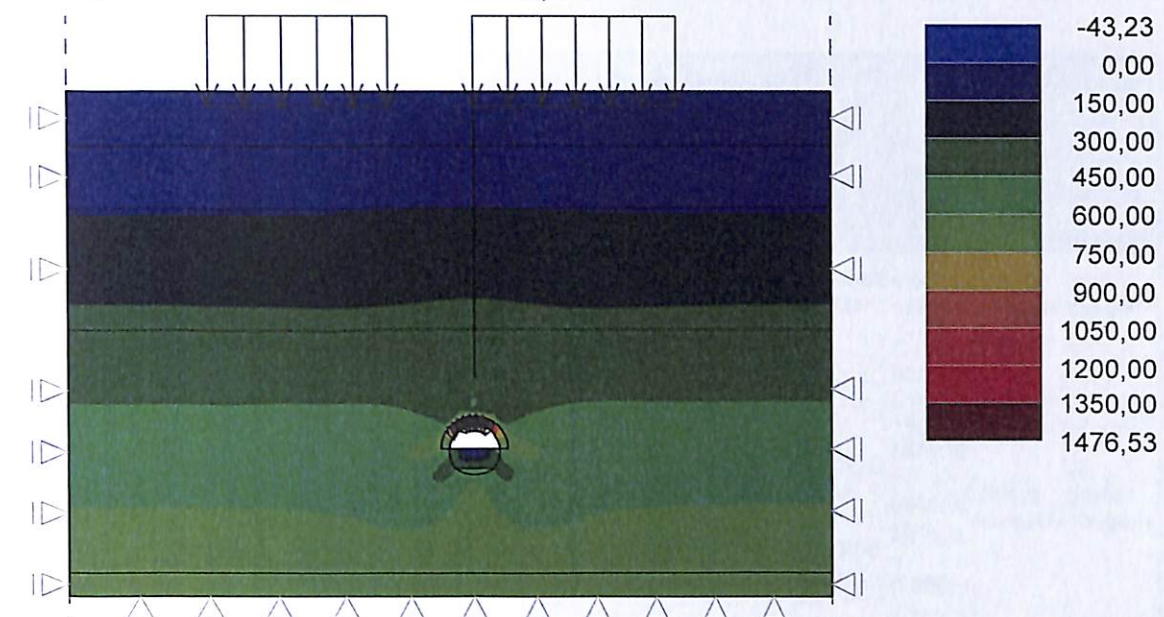


N+ [kN/m]



Nem üzleti célú felhasználásra



Eredmények : általános; változó : Szigma χ_{tot} ; interv. : <-43,23; 1476,53> kPa**Rézsúállékonyságok****Eredmények (Kivitelezési fázis 1)**

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 2,09

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	18,89	0,00
2	16,98	0,00
3	16,98	0,00
4	14,83	95,66
5	14,83	95,66
6	14,83	119,57
7	14,83	215,23
8	14,83	215,23
11	14,83	119,57
12	14,83	119,57
13	14,83	119,57



Nem üzleti célú felhasználásra



Adatbevitel (Kivitelezési fázis 5)

Rudak

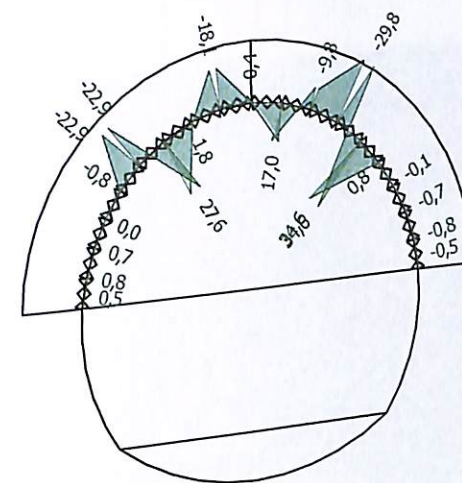
Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesztés / ónsúly	Keresztmetszet / egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	—	—	Igen	módosított nélkül	módosított nélkül	(nincs megadva)	(nincs megadva)
2	Igen		2 sz. szabad vonal	—	—	Igen	A = 3,00E-03 m ² /m; I _y = 2,25E-03 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadva)	(nincs megadva)
3	Igen		4 sz. szabad vonal	—	—	Igen	A = 3,00E-03 m ² /m; I _y = 2,25E-03 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadva)	(nincs megadva)

Sz.	Keresztmetszet		Anyag	
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00
2	2,25E-03	3,00E-01	15000,00	6000,00
3	2,25E-03	3,00E-01	15000,00	6000,00

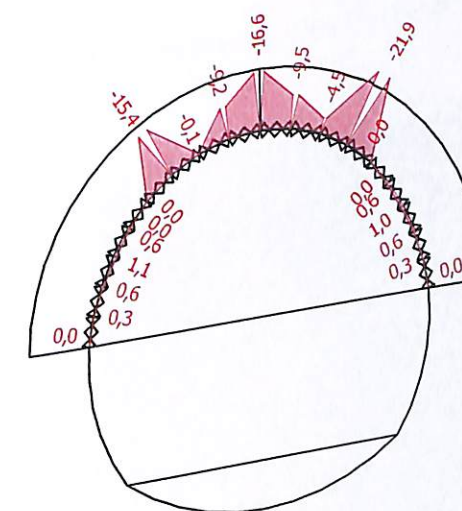
Eredmények (Kivitelezési fázis 5)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %

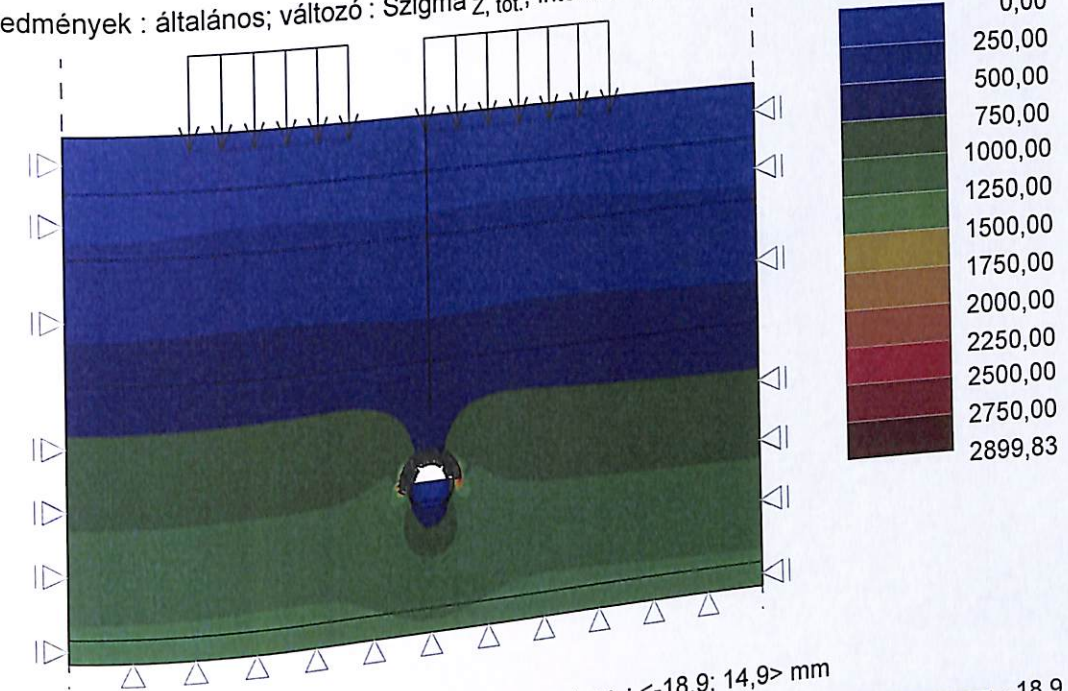
Q [kN/m]



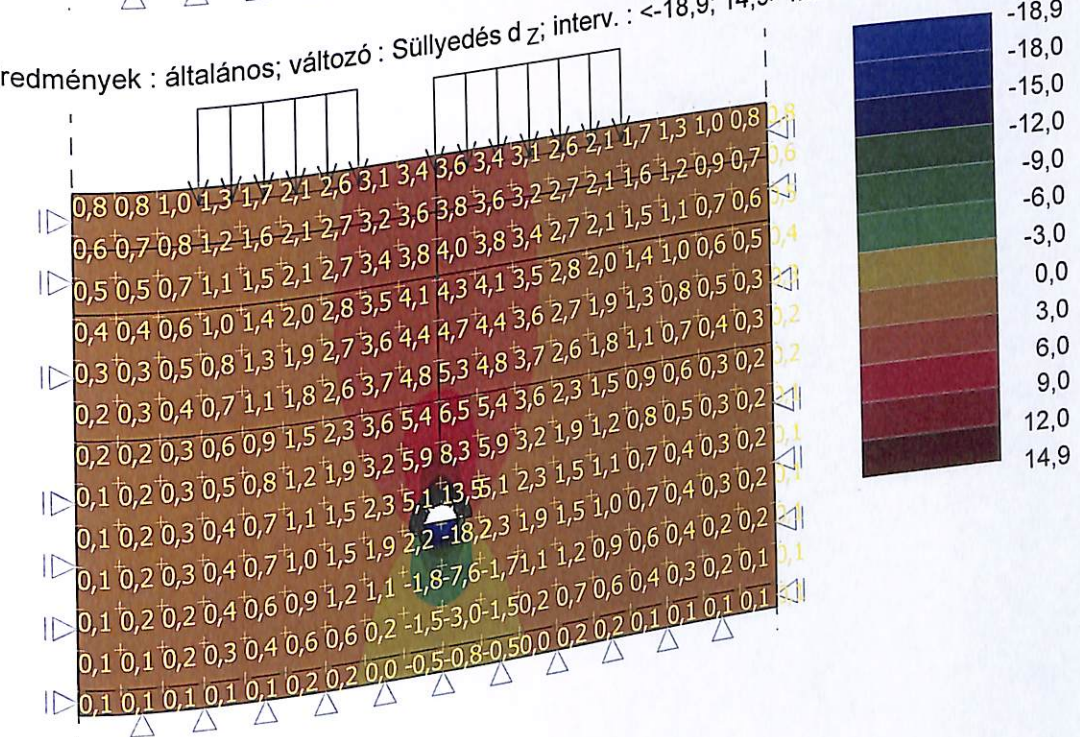
M [kNm/m]



Eredmények : általános; változó : Szigma z, tot.: interv. : <0,00; 2899,83> kPa

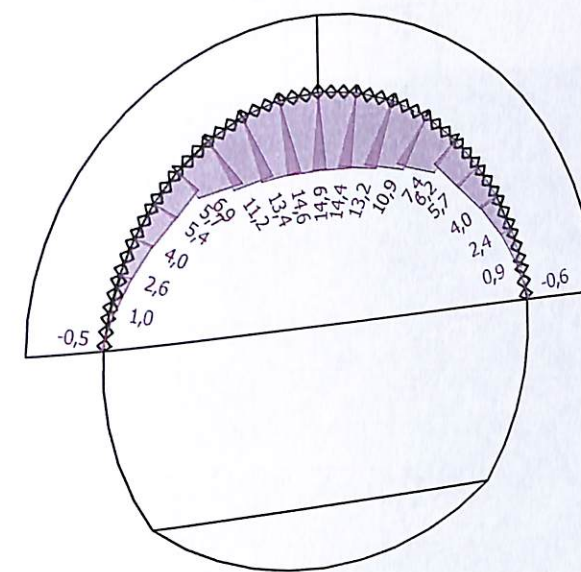


Eredmények : általános; változó : Süllyedés d z: interv. : <-18,9; 14,9> mm

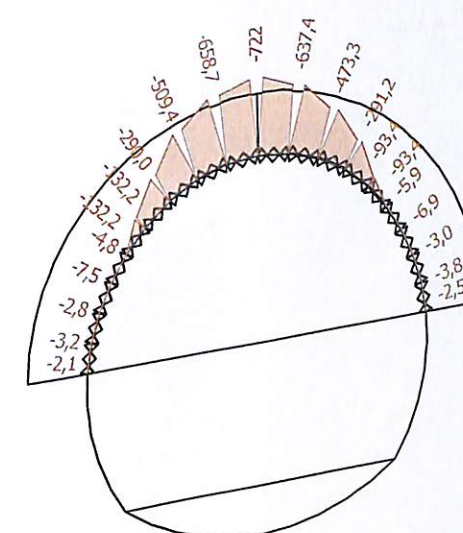


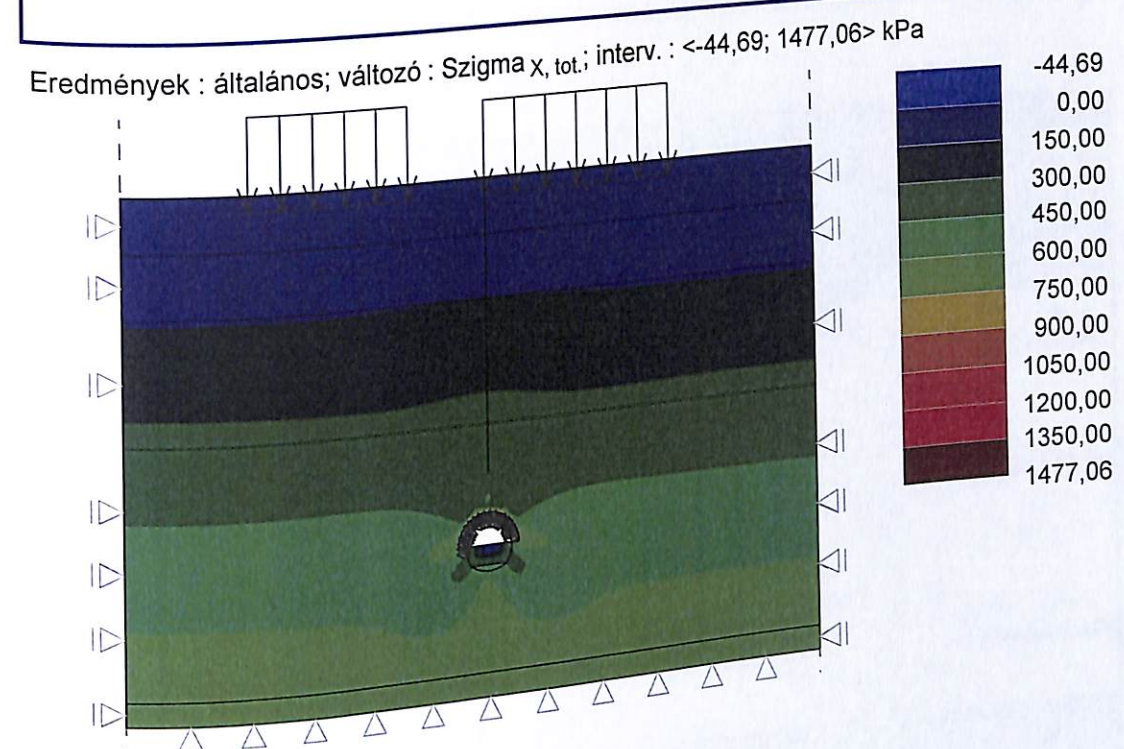
Nem üzleti célú felhasználásra

D [mm]



N+ [kN/m]



**Rézsúállékonyságok****Eredmények (Kivitelezési fázis 1)**

A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.
Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező **FS = 2,09**

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	18,89	0,00
2	16,98	0,00
3	16,98	0,00
4	14,83	95,66
5	14,83	95,66
6	14,83	119,57
7	14,83	215,23
8	14,83	215,23
11	14,83	119,57
12	14,83	119,57
13	14,83	119,57

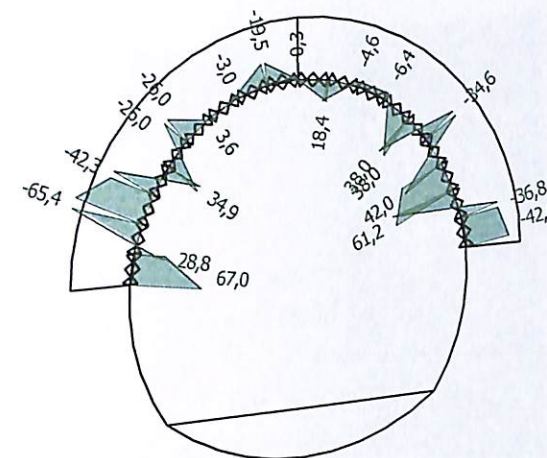
Nem üzleti célú felhasználásra

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 6)

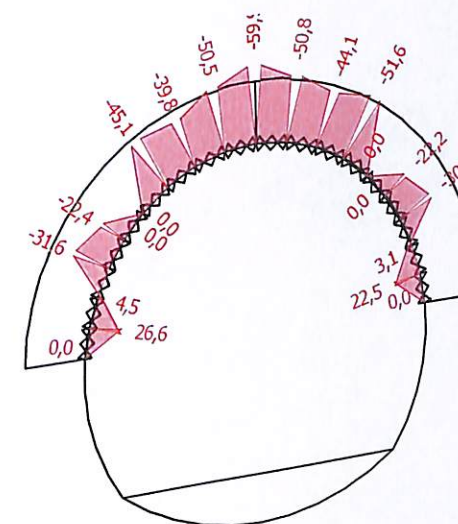
Rudak										
Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	esztmetti egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdeler jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○	○	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
2	Nem	Igen	2 sz. szabad vonal	└	└	Igen	↑ A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
3	Nem	Igen	4 sz. szabad vonal	└	└	Igen	↑ A = 3,00E-0 m ² /m; I _y = 2,25E-0 m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
Sz.	Keresztmetszet				Anyag					
	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]			E [MPa]	G [MPa]				
1	2,25E-03	3,00E-01			33000,00	13750,00				
2	2,25E-03	3,00E-01			33000,00	13750,00				
3	2,25E-03	3,00E-01			33000,00	13750,00				

Eredmények (Kivitelezési fázis 6)
A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %

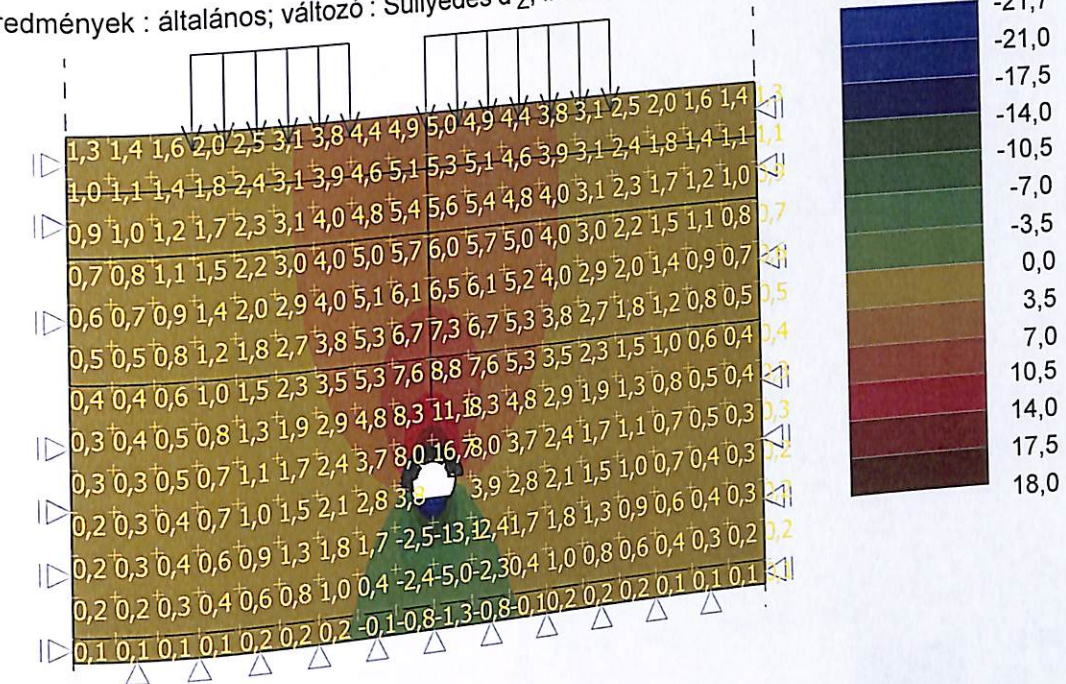
Q [kN/m]



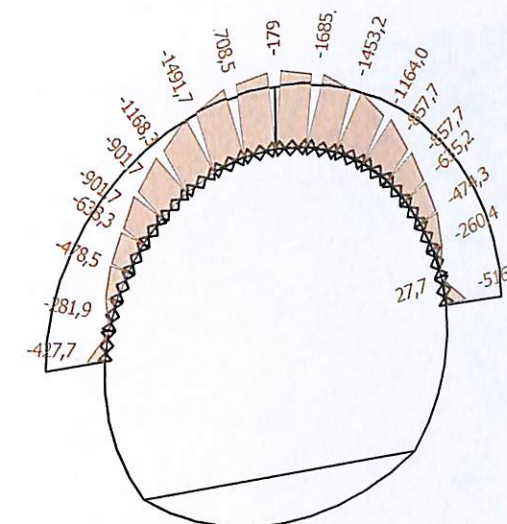
M [kNm/m]



Eredmények : általános; változó : Süllyedés d z; interv. : <-21,7; 18,0> mm

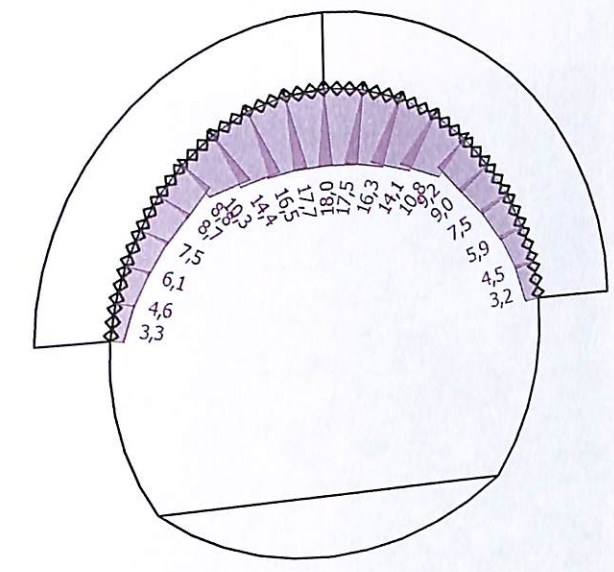


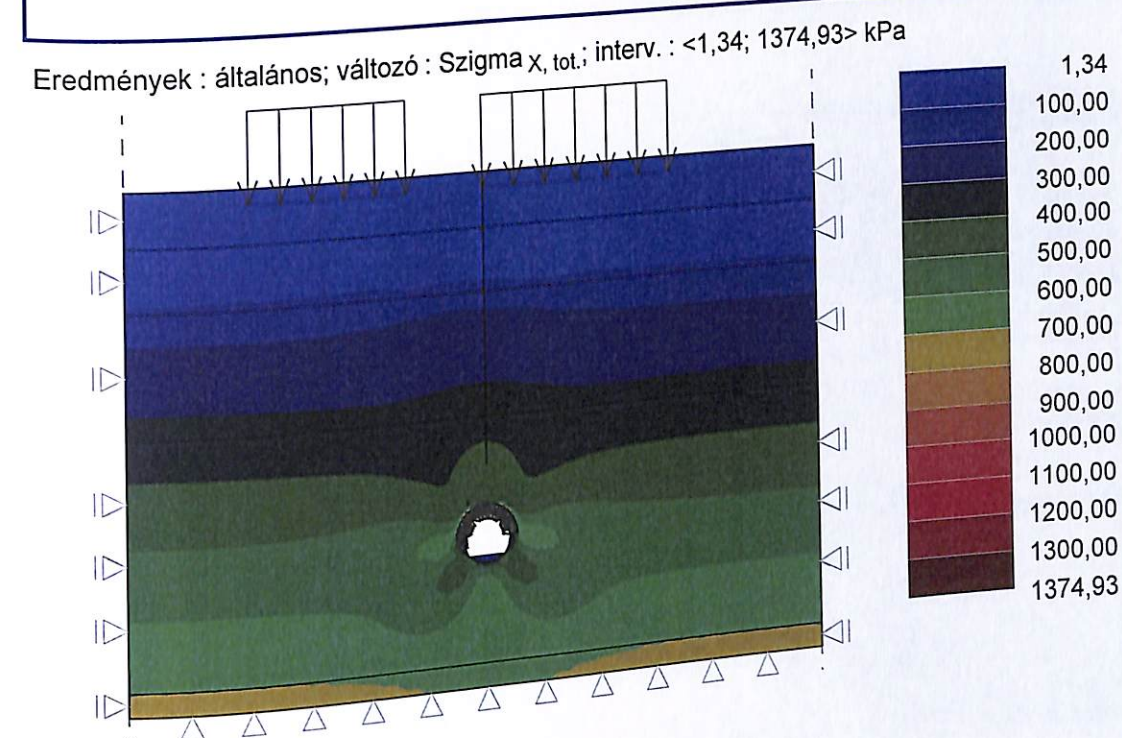
N+ [kN/m]



Nem üzleti célú felhasználásra

D [mm]





Rézsűállékonyságok
Eredmények (Kivitelezési fázis 1)
A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.
Számítás beállításai : felhasználói
Biztonsági tényező FS = 1,52

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	25,92	0,00
2	23,29	0,00
3	23,29	0,00
4	20,34	131,22
5	20,34	131,22
6	20,34	164,02
7	20,34	295,24
8	20,34	295,24
12	20,34	164,02
13	20,34	164,02

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 7)

Gerenda			Támasz [m]		Figy.vesz	esztmet / egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
Sz.	Új	módosított	Hely	Kezdőpt.	Végpt.	ónsúly		bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○	○	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv: megadv:
2	Nem	Nem	2 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv: megadv:
3	Nem	Nem	4 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv: megadv:
4	Igen		10 sz. szabad vonal	└	└	Igen	A = 3,00E-01 m ² /m; I _y = 2,25E-01 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv: megadv:
5	Igen		11 sz. szabad vonal	└	└	Igen	A = 3,00E-01 m ² /m; I _y = 2,25E-01 m ⁴ /m	C 30/37; E = 15000,0 MPa; G = 6000,00 MPa; α = 0,00001 1/K; γ = 25,00 kN/m ³	(nincs megadv: megadv:
Keresztmetszet						Anyag			
Sz.	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]		E [MPa]		G [MPa]			
1	2,25E-03	3,00E-01		33000,00		13750,00			
2	2,25E-03	3,00E-01		33000,00		13750,00			
3	2,25E-03	3,00E-01		33000,00		6000,00			
4	2,25E-03	3,00E-01		15000,00		6000,00			
5	2,25E-03	3,00E-01		15000,00					

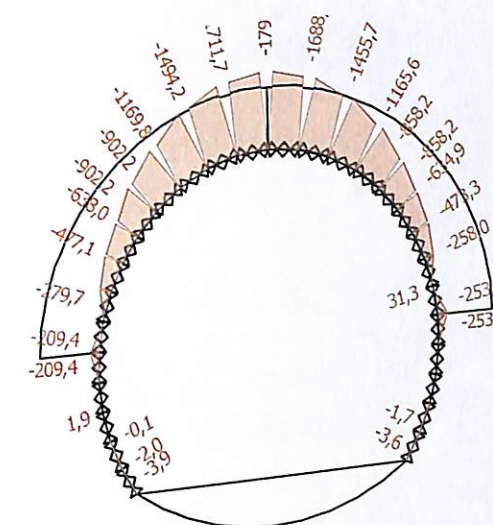
Eredmények (Kivitelezési fázis 7)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.

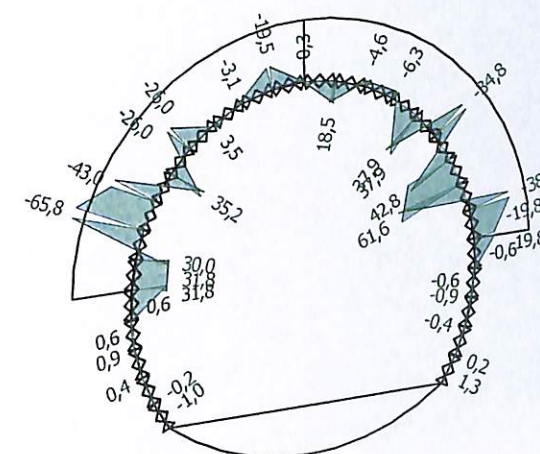
Nem üzleti célú felhasználásra

Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %

N+ [kN/m]

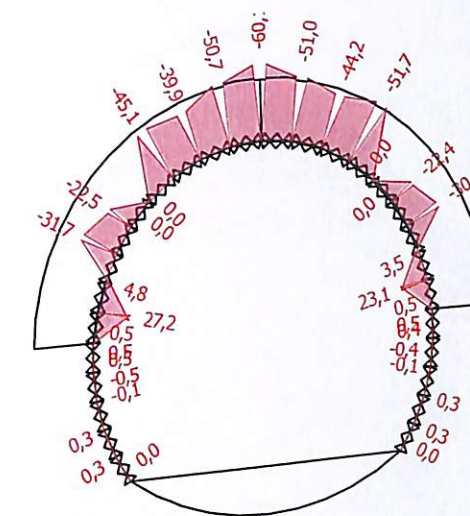


Q [kN/m]

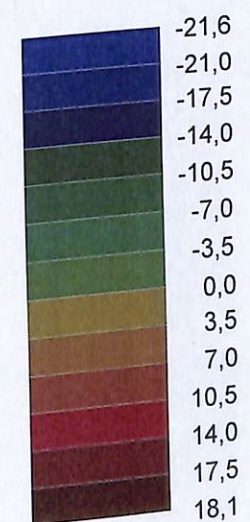
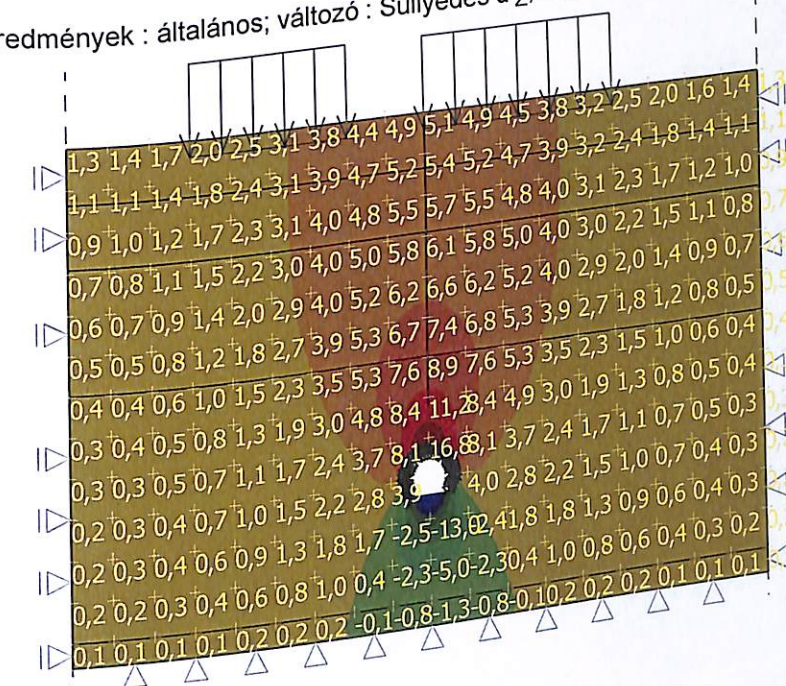


Nem üzleti célú felhasználásra

M [kNm/m]



Eredmények : általános; változó : Süllyedés d z; interv. : <-21,6; 18,1> mm



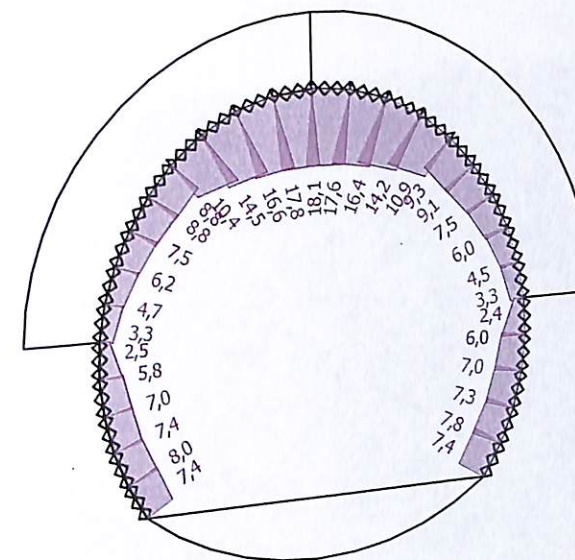
Nem üzleti célú felhasználásra



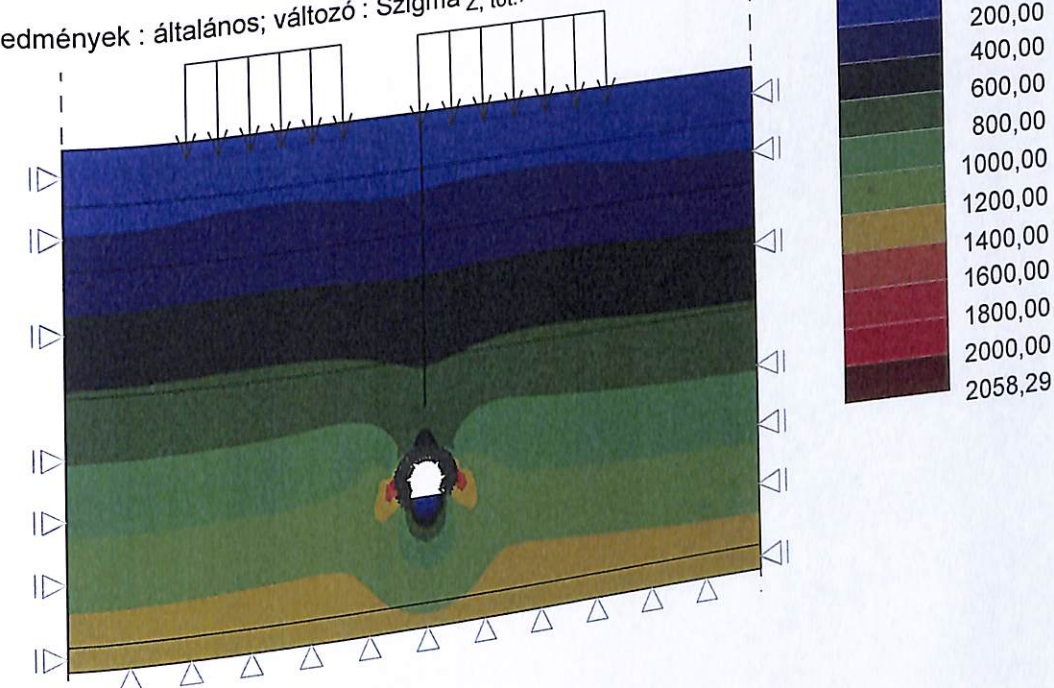
Szórádi Mihály

M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
Vizsgált szelvény: 13+15,23

D [mm]



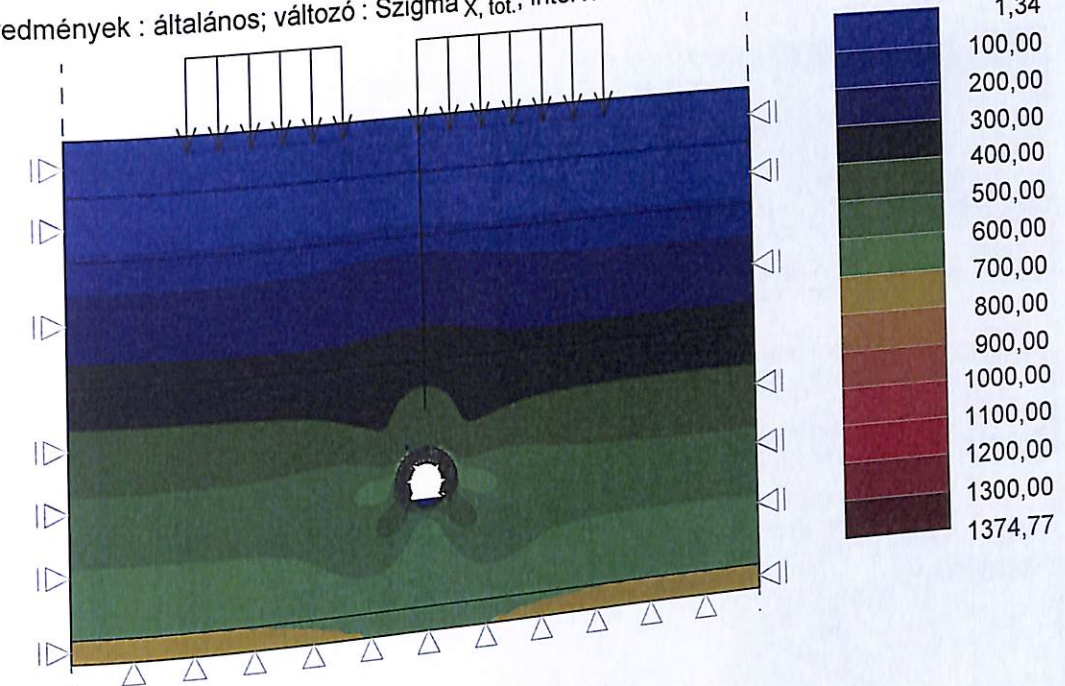
Eredmények : általános; változó : Szigma z, tot.; interv. : <0,00; 2058,29> kPa



Nem üzleti célú felhasználásra

33

Eredmények : általános; változó : Szigma x, tot.; interv. : <1,34; 1374,77> kPa

**Rézsűállékonyságok****Eredmények (Kivitelezési fázis 1)**A rézsűállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.
Számítás beállításai : felhasználóiBiztonsági tényező $FS = 1,35$

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	29,26	0,00
2	26,30	0,00
3	26,30	0,00
4	22,97	148,18
5	22,97	148,18
6	22,97	185,22
7	22,97	333,40
8	22,97	333,40
12	22,97	185,22
13	22,97	185,22

Túllépte a csökkentő lépésenkénti maximális relaxációk számát.

Nem üzleti célú felhasználásra

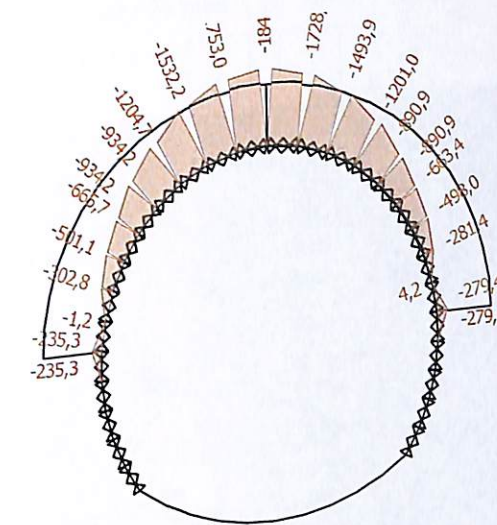
Adatbevitel (Kivitelezési fázis 8)

Rudak										
Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz. ónsúly	esztmet / egradác. a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok	
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○	○	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
2	Nem	Nem	2 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
3	Nem	Nem	4 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít: nélkül	módosít: nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
4	Nem	Igen	10 sz. szabad vonal	└	└	Igen	↑ A = 3,00E-03 m ² /m; l _y = 2,25E-03 m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
5	Nem	Igen	11 sz. szabad vonal	└	└	Igen	↑ A = 3,00E-03 m ² /m; l _y = 2,25E-03 m ⁴ /m	↑ E = 33000,0 MPa; G = 13750,0 MPa	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)
Sz.	Keresztmetszet				Anyag					
	l _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	E [MPa]	G [MPa]						
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00						
2	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00						
3	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00						
4	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00						
5	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00						

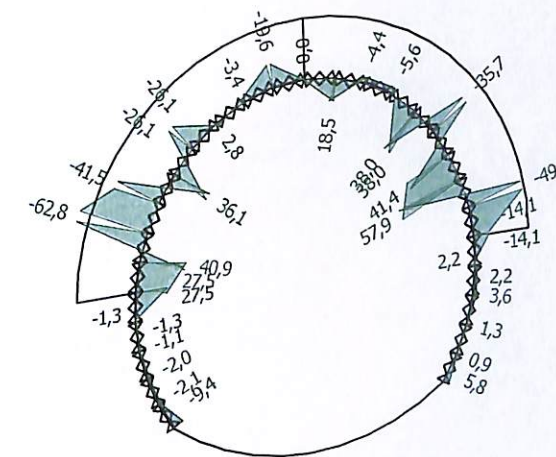
Eredmények (Kivitelezési fázis 8)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %

N+ [kN/m]



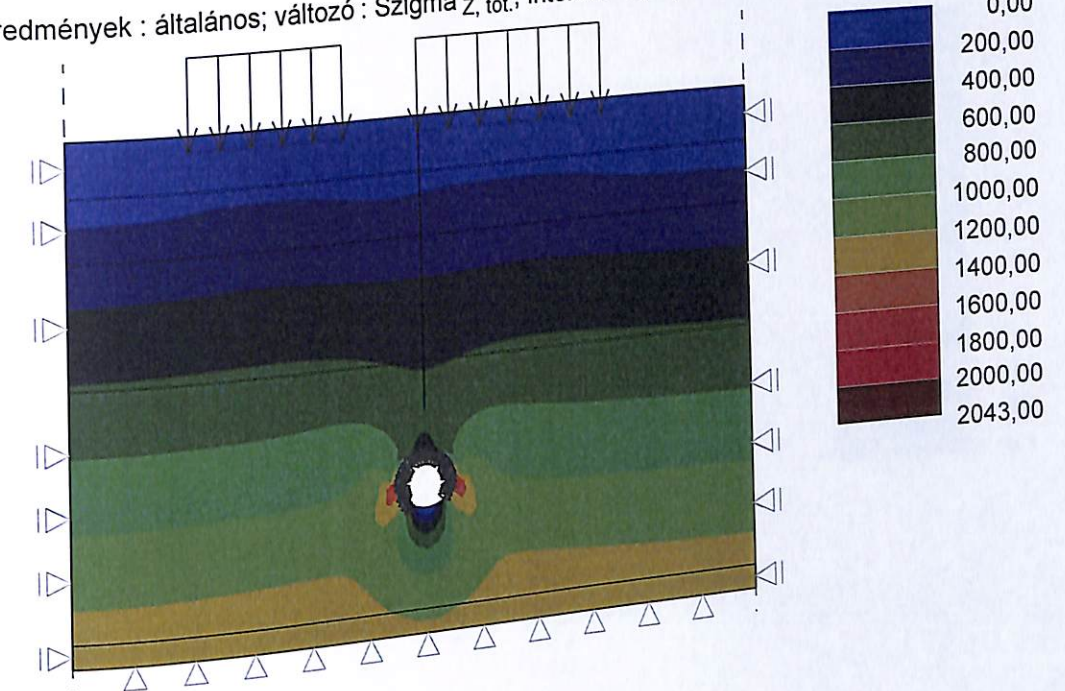
Q [kN/m]



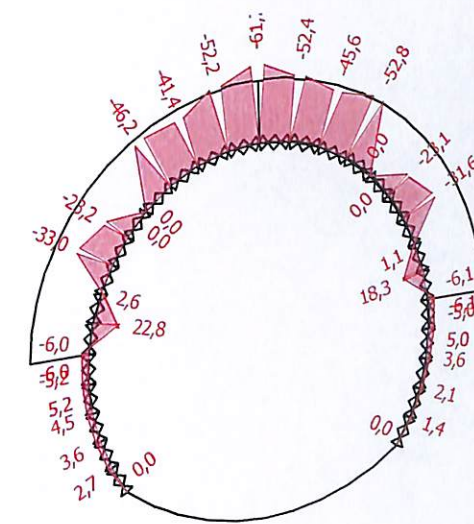
Szórádi Mihály

M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
Vizsgált szelvény: 13+15,23

Eredmények : általános; változó : Szigma z, tot.; interv. : <0,00; 2043,00> kPa

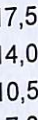


M [kNm/m]

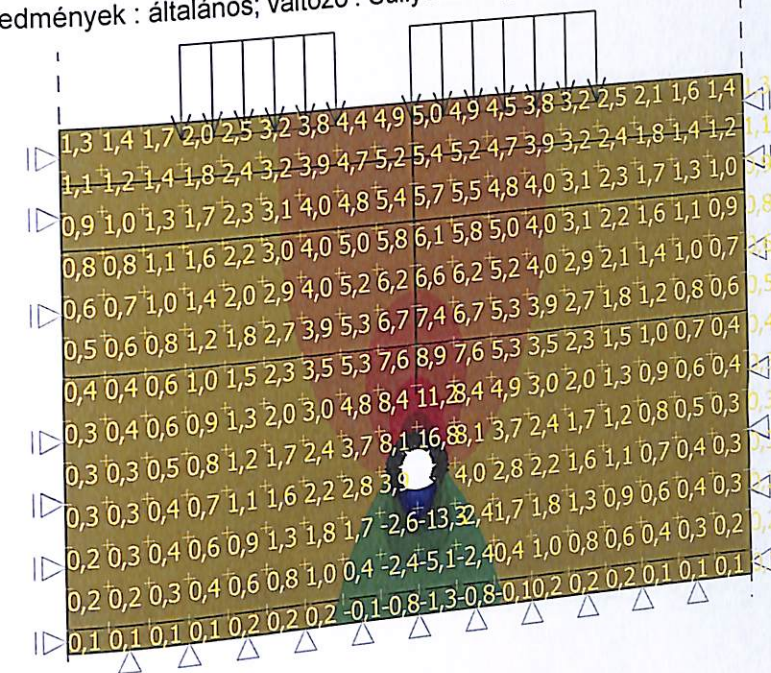


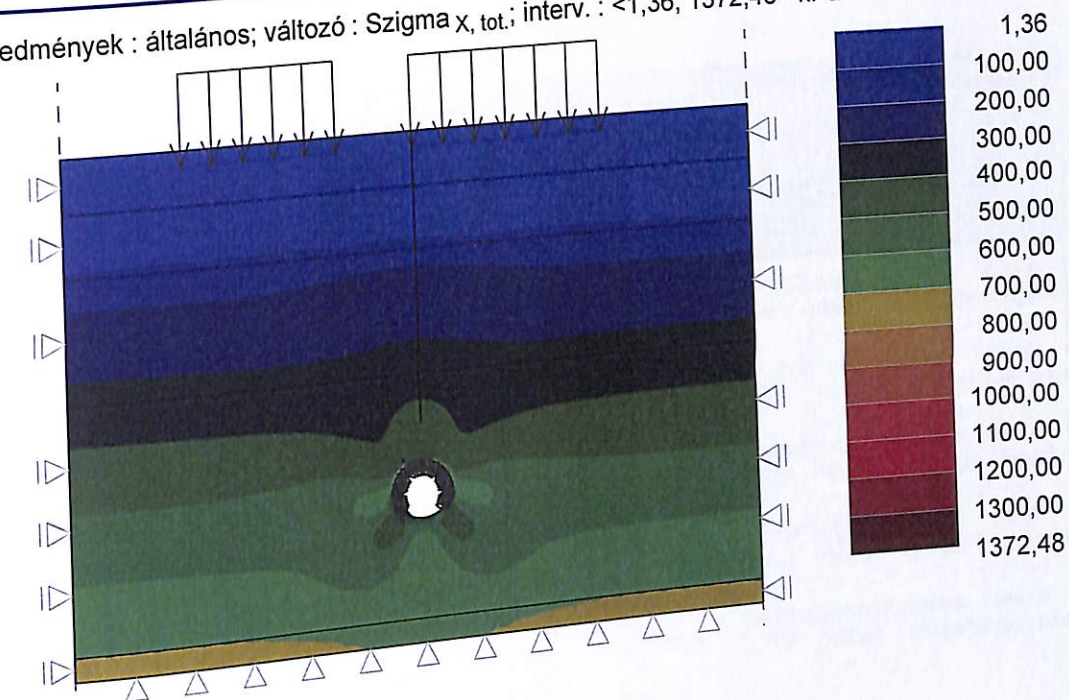
Nem üzleti célú felhasználásra

37



20,3
17,5
14,0
10,5
7,0
3,5
0,0
3,5
7,0
10,5
14,0
17,5
18,1



Eredmények : általános; változó : Szigma χ , tot.; interv. : <1,36; 1372,48> kPa**Rézsúállékonyságok****Eredmények (Kivitelezési fázis 1)**A rézsúállékonyság vizsgálat sikeresen befejeződött.
Számítás beállításai : felhasználóiBiztonsági tényező $FS = 1,39$ A számítás lefutott a talajok csökk.
paramétereivel

Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	28,44	0,00
2	25,56	0,00
3	25,56	0,00
4	22,32	143,98
5	22,32	143,98
6	22,32	179,97
7	22,32	323,95
8	22,32	323,95
13	22,32	179,97

Túllépte a csökkentő lépésenkénti maximális relaxációk számát.

Nem üzleti célú felhasználásra

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 9)

Adatbevitel (Kivitelezési fázis 9)											
Rudak											
Sz.	Gerenda		Hely	Támasz [m]		Figy.vesz őnsúly	esztmet / egradác a jelenlegi fázisban [%]	Anyag / Rúdelem jelenlegi aktivitás [%]	Kapcsolatok		
	Új	módosított		Kezdőpt.	Végpt.				bal	jobb	
1	Nem	Nem	1 sz. szabad vonal	○	○	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)	
2	Nem	Nem	2 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)	
3	Nem	Nem	4 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)	
4	Nem	Nem	10 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)	
5	Nem	Nem	11 sz. szabad vonal	└	└	Igen	módosít nélkül	módosít nélkül	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)	
6	Igen		3 sz. szabad vonal	└	└	Igen	A = 3,00E-01 m ² /m; I _y = 2,25E-03 m ⁴ /m	C 30/37	(nincs megadv.)	(nincs megadv.)	
Keresztmetszet											
Sz.	I _y [m ⁴ /m]	A [m ² /m]	Anyag								
			E [MPa]	G [MPa]							
1	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00							
2	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00							
3	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00							
4	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00							
5	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00							
6	2,25E-03	3,00E-01	33000,00	13750,00							

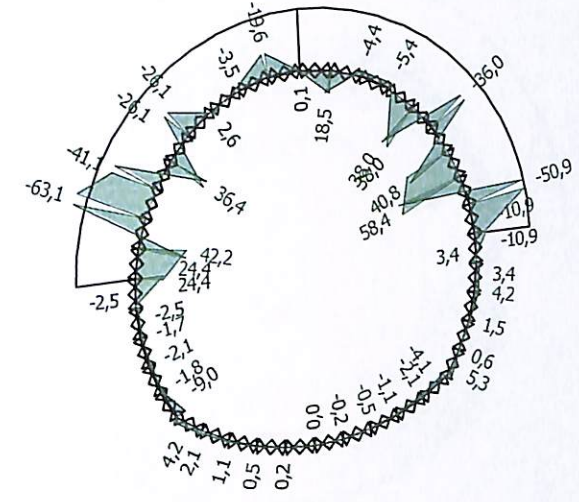
Eredmények (Kivitelezési fázis 9)

A feszültségszámítás sikeresen lefutott.
Számítás beállításai : szabványos
Tényleges terhelés = 100,00 %

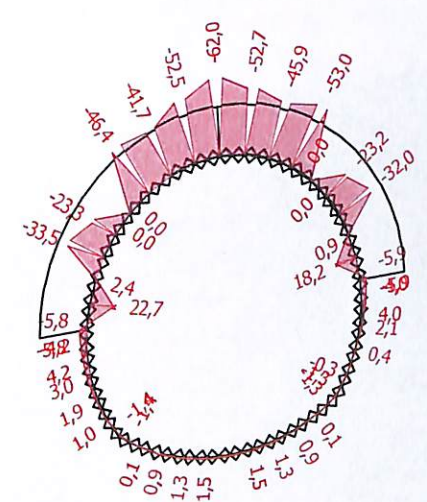
Szórádi Mihály

M2 és M4 metróvonalakat összekötő üzemi alagút
Vizsgált szelvény: 13+15,23

Q [kN/m]

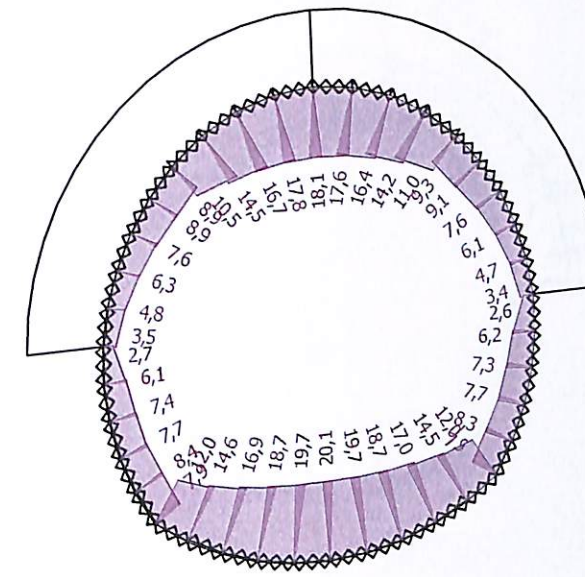


M [kNm/m]

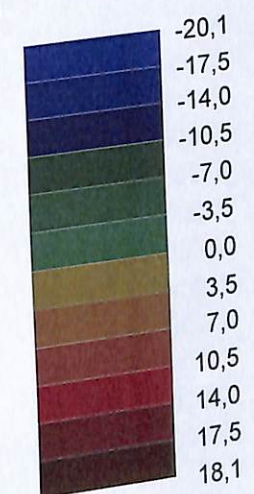
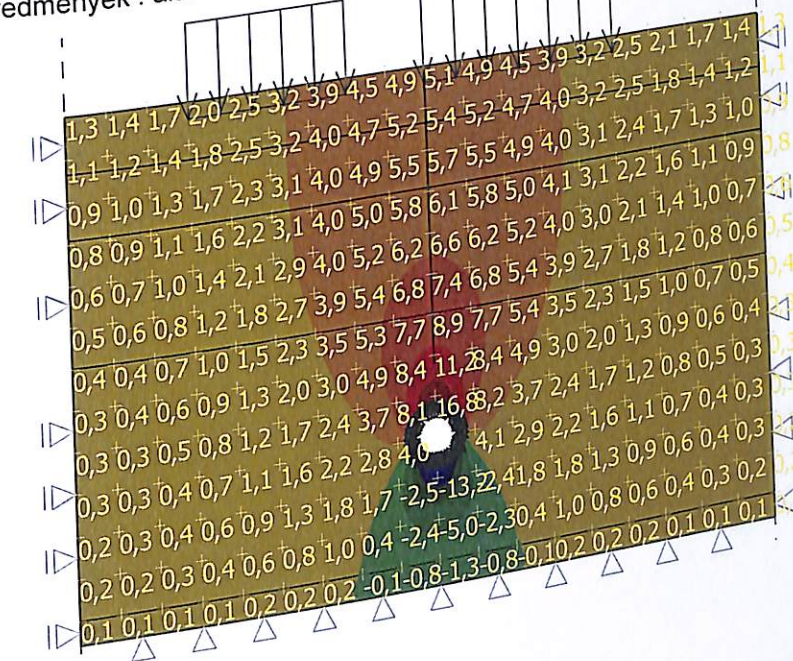


Nem üzleti célú felhasználásra

D [mm]

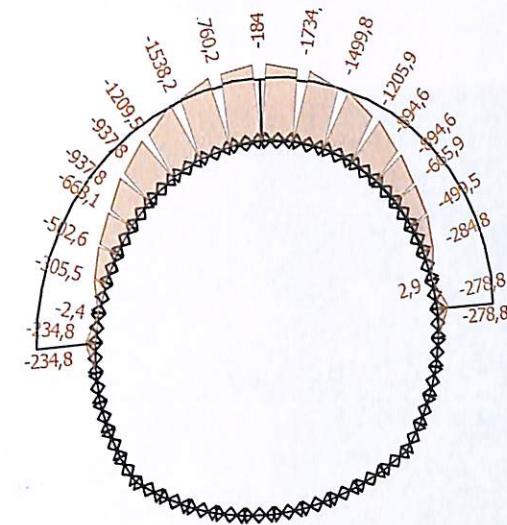


Eredmények : általános; változó : Süllyedés d z; interv. : <-20,1; 18,1> mm

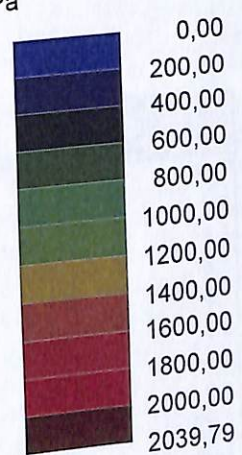
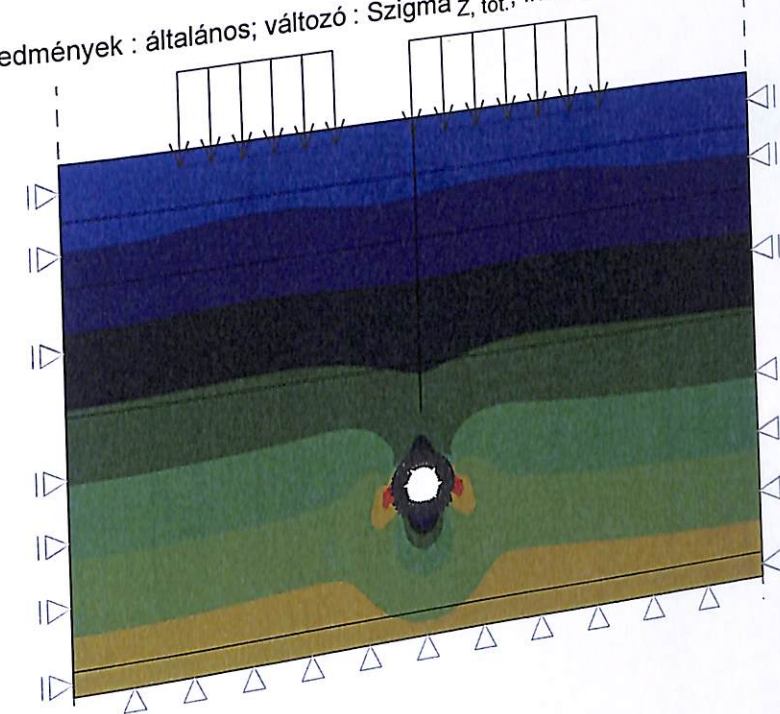


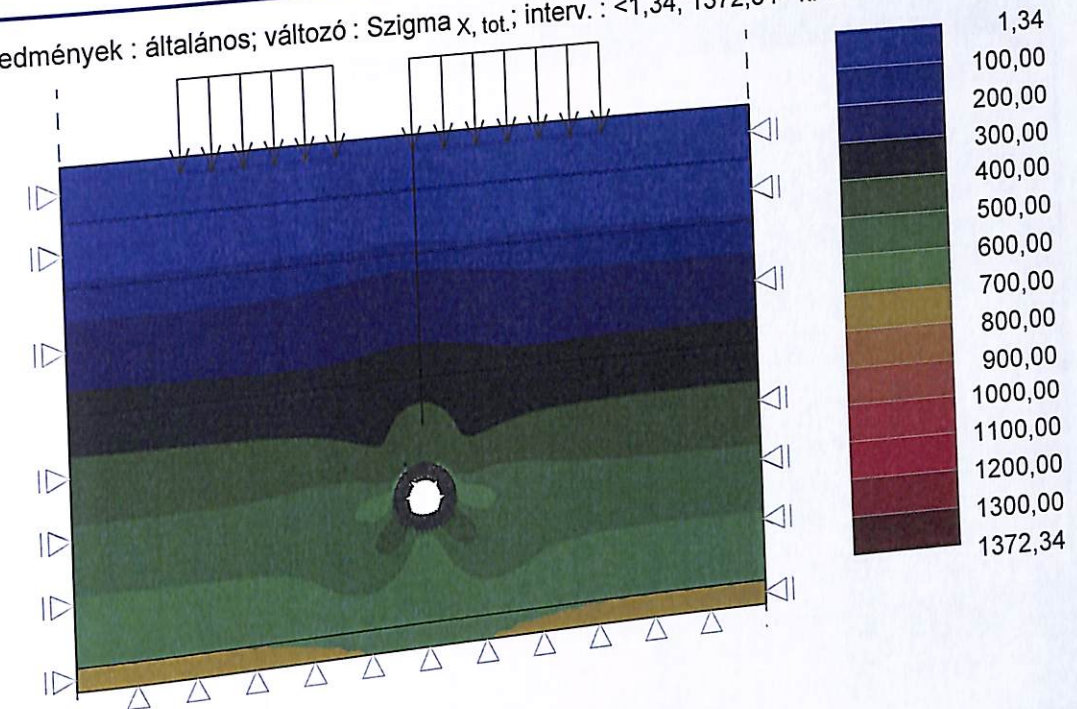
Nem üzleti célú felhasználásra

N+ [kN/m]



Eredmények : általános; változó : Szigma z, tot.; interv. : <0,00; 2039,79> kPa



Eredmények : általános; változó : Szigma χ_{tot} ; interv. : <1,34; 1372,34> kPa

Táblázatok

Eloszlások rúdelemen						
Sz.	Koordináták		D	N	M	Q
	x [m]	z [m]	[mm]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]
1	46,98	17,42	11,0	-894,6	0,0	38,0
	46,55	17,77	14,2	-1205,9	-53,0	-5,4
	46,07	18,02	16,4	-1499,8	-45,9	-4,4
	45,54	18,18	17,6	-1734,6	-52,7	18,5
	45,00	18,24	18,1	-1847,0	-62,0	0,1
	44,45	18,18	17,8	-1760,2	-52,5	-19,6
	43,93	18,02	16,7	-1538,2	-41,7	-3,5
	43,44	17,77	14,5	-1209,5	-46,4	2,6
	43,02	17,42	10,5	-937,8	0,0	-26,1
	43,02	17,42	8,9	-937,8	0,0	-26,1
	42,70	17,05	8,9	-668,1	-23,3	36,4
	42,43	16,64	7,6	-502,6	-33,5	-41,1
2	42,23	16,20	6,3	-305,5	2,4	-63,1
	42,08	15,73	4,8	-234,8	22,7	42,2
	42,01	15,25	3,5	-278,8	18,2	24,4
	41,99	15,25	4,7	-284,8	0,9	-10,9
	41,91	15,73	6,1	-499,5	-32,0	-50,9
	41,77	16,20	7,6	-665,9	-23,2	58,4
3	41,56	16,64	9,1	-894,6	0,0	40,8
	41,30	17,05	9,3			-36,0
	40,98	17,42				38,0

Nem üzleti célú felhasználásra

Sz.	Koordináták		D [mm]	N [kN/m]	M [kNm/m]	Q [kN/m]
	x [m]	z [m]				
4	42,01	15,25	2,7	-234,8	-5,8	24,4
					-4,2	-2,5
	42,00	14,76	6,1	5,0	4,2	-1,7
				8,2	3,0	-2,1
	42,06	14,28	7,4	14,5	1,9	-1,8
	42,19	13,81	7,7	23,7	1,0	-9,0
	42,38	13,36	8,4	27,7	-1,4	5,3
	42,63	12,94	7,9	31,7	-1,3	0,6
5	47,37	12,94	7,9	23,3	-0,3	1,5
	47,62	13,36	8,3	12,8	0,4	4,2
	47,81	13,81	7,7	10,3	2,1	3,4
	47,94	14,28	7,3		4,0	
				5,6	-4,0	
	48,00	14,76	6,2		-5,9	-10,9
				-278,8	-1,4	4,2
	47,99	15,25	2,6	8,5	0,1	2,1
6	42,63	12,94	12,0	6,6	0,9	1,1
	43,05	12,66	14,6	4,9	1,3	0,5
	43,51	12,45	16,9	3,7	1,5	0,0
	43,99	12,29	18,7	3,0	1,5	-0,2
	44,49	12,19	19,7	2,7	1,5	-0,5
	44,99	12,16	20,1	3,0	1,3	-1,1
	45,00	12,19	19,7	3,7	0,9	-2,1
	45,50	12,29	18,7	4,9	0,1	-4,1
	46,00	12,45	17,0	6,4	-1,3	
	46,48	12,66	14,5	8,4		
	46,94	12,94	12,0			
	47,37					

Rézsűállékonyságok

Eredmények (Kivitelezési fázis 1)

A rézsűállékonyság vizsgálat szabálytalanul zárult.

Számítás beállításai : felhasználói

Biztonsági tényező FS = 5,40

A számítás lefutott a talajok csökk.

A számítás lefutott a talajok csökk. paramétereivel		
Régió száma	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]
1	7,32	0,00
2	6,58	0,00
3	6,58	0,00
4	5,74	37,06
5	5,74	37,06
6	5,74	46,33
7	5,74	83,39
8	5,74	83,39
13	5,74	46,33