SZAKDOLGOZAT

Kajcsos Balázs

2016

SZENT ISTVÁN EGYETEM

YBL

YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST

Az M0-ás körgyűrű befejező szakaszán épülő alagút 83.370, és 83.470 szelvények közötti szakaszának megtervezése pajzsos módszerrel

Készítette:
Kajcsos Balázs geotechnika szakos hallgató

Konzulens:
Prof. Dr. Telekes Gábor egyetemi tanár

Budapest 2016

SZENT ISTVÁN EGYETEM

Dr.Dombay Gábor PhD.
intézetigazgató, főiskolai tanár

YBL

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
2016

Kajcsos Balázs

Nappali Építőmérnök szakos
hallgató részére

A feladat címe: M0 autópálya északi gyűrű 83 +370 km-től a 83 +470 km keresztszelvényű alagútszakasz tervezése pajzsos alagútépítési eljárással

Belső konzulens: Prof. Dr. Telekes Gábor főiskolai tanár

Külső konzulens: Grabarits József okl. mérnök, UNITEF ZRt.

A szakdolgozat beadási határideje: 2016. május 27. (péntek) $12^{\underline{00}}$

Budapest, 2016. május 19.

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: epitomernöki.intezet@ybl.szie.hu

Részletes feladatkiírás

Kajcsos Balázs

Nappali Építőmérnök
hallgató részére

M0 autópálya északi gyűrű 83 +370 km-től a 83 +470 km keresztszelvényű alagútszakasz tervezése pajzsos alagútépítési eljárással

című szakdolgozatához

Készítse el az M0 autópálya északi gyűrű 83 +370 km-től a 83 +470 km keresztszelvényű alagútszakaszának kivitelezési tervét pajzsos alagútépítési eljárással. Készítsen tanulmányt az alagútépítési eljárásokról.

Beadandó munkarészek:

Műszaki leírás
Statikai számítás
Kivitelezési tervlapok
Költségbecslés

Budapest, 2016. május 19.

Prof. Dr. Telekes Gábor
belső konzulens

Tartalomjegyzék

I.Bevezetés 5

II.Megbízás 6

III.Az M0-ás története és befejező szakasza 7

IV. Földalatti építmények kialakulása 9

4.1 Alagutak célja és osztályozása 9

4.2 Az alagútépítés rövid története 10

4.3 Alagutak elhelyezkedését befolyásoló tényezők 11

4.4 Alagutak vonalvezetését befolyásoló tényezők 13

4.5 Kőzethőmérséklet szerepe 14

4.6 Alagutakra és földalatti létesítményekre ható erők általánosságban 14

V.Kőzetnyomások 15

5.1 Kőzetnyomás keletkezésének okai 15

5.2 Kőzetnyomások fajtái 15

5.3Kőzetnyomás meghatározása 15

5.4 Protodjakonov módszer 15

VI. Kőzetek osztályba sorolása 18

6.1 Tagoltság kialakulása és rendszere 18

6.2 A tagoltság tágassága, nyitottsága 19

6.3 A tagoltságok megnyílásának osztályba sorolása 19

6.4 Tagoltságok folytonossága és egymástól mért távolsága 19

6.5 Az RQD érték a tagoltság mértékének meghatározására 19

6.5.1 Kőzettestek osztályozása az RQD érték alapján 20

6.6 Q index (Alagútépítési kőzetminősítő érték) 20

6.6.1 A kőzettest szerkezete 21

6.6.2 A kőzettömbök nyírószilárdsága 21

6.6.3 Feszültség-értékek 22

6.6.4 Súlyozott Q-érték meghatározása 23

6.7 A Geológiai Szilárdsági Index (GSI) 24

VII.A pajzsos alagútépítés 27

7.1 A földalatti műtárgyak építési módszerei 27

7.2 Zárt építési módszer kiválasztásának szempontjai 27

7.3 A fúrópajzsok szerkezetei és méretei 29

7.4 A pajzsos alagútépítés legfontosabb munkarészei 29
7.5 A falazóelemek (tübbingek) szerkezete 31
7.6 Építés talajszilárdítás védelmében 32
7.7 Az injektálással végrehajtott szilárdítások 33
7.8 Építés csőernyő védelmében 34
7.9 A fúrópajzsok fajtái 35
7.9.1A fix köpenyes pajzs építési ütemei a következők 35
7.9.2 Talajpép homlokmegtámasztású EPB pajzsok 35
7.9.3 Földnyomásos EPB pajzs 36
7.9.4 A nyitott fejtőkeresztes megoldás 37
7.9.5 A rögzített burkolattal ellátott fejtőtárcsás pajzsok 37
7.9.6 Az aktív homloktámasztású megoldások 38
7.9.7 A hidropajzs 38
7.10 Pajzzsal épített alagút falazatok 38
7.11. Felszín alatti geotechnikai monitoring 39
7.11.1 Inklinométer 39
7.11.2 Extenzométer 40
7.12 Automatikus deformációs monitoring 40
7.13 Új alagútépítési eljárások 40
7.13.1 Az új osztrák építési módszer 40
VIII.Térszín alatti különleges építmények 42
8.1 Leszálló, szállító vagy szellőző aknák 42
8.2 Összekötő folyosók (szellőző csatornák 42
8.3 Földalatti csarnokok (pajzskamrák, gépházak, elektromos kamrák stb): 42
8.4 Földalatti vasúti állomások és üzemi helyiségek 43
IX.Az alagútépítés különleges balesetvédelmi és egészségügyi szempontjai 44
9.1 Balesetvédelemi szempontok 44
9.2 Egészségvédelmi szempontok 44
X. Az alagutak szellőzése,világítása 45
10.1 Alagutak szellőzése 45
10.2 Az alagutak világítása 46
XI. Alagutak véges elemes vizsgálata 48
11.1 A geotechnikai modell 48
11.2 Plaxis 49

11.2.1 A lehatárolás méretei alagútnál 49
11.2.2 Anyagmodellek 50
XII. Költségvetés számítása 54
12.1 A Gripperes pajzs teljes költségvetése 54
12.2 Az EPB pajzs teljes költségvetése 55
XIII. Felhasznált irodalmak 56
XIV. Műszaki leírás 57
XV. Számítási melléklet 60
15.1 A belső súrlódási szög és a kohézió meghatározása 60
15.2 Protodjakonov féle kőzetnyomás elmélet számítása 61
15.3 Q index meghatározása 63
15.4 Fejtés közbeni mozgások meghatározás, lőttbeton falazat felhordási idejénekmeghatározása 65
15.4.1 Kiinduló adatok 15centiméteres lőttbeton falazat kialakítása esetén 65
15.4.2 Kiinduló adatok 20 centiméteres lőtt beton falazat kialakítása esetén 69
15.5 Plaxis számítás 73
15.5.1 20 cm-es lőttbeton falazatra ellenőrzés 73
15.5.2 40 cm-es vasbeton falazatra ellenőrzés 78
15.6 Axis számítása 80
15.6.1 20cm-es lőttbetonra ellenőrzés 80
15.6.2 40cm-es vasbeton falazatra ellenőrzés 81
15.7 Repedéstágasság ellenőrzése 83
XVI. Köszönetnyilvánítás 85

I.Bevezetés

A műtárgyépítés II. című tárgy keretein belül találkoztam először a fúrási technológiákkal, ahol az elméleti alapok elsajátításán volt a fő hangsúly. 2014 nyarának első hetében az iskola által szervezett mérőtáborban pedig a gyakorlatban is láttam néhány fúrási technológiát, ami még jobban megerősített abban, hogy ezzel szeretnék foglalkozni a későbbiek folyamán.

Az alagútépítés Magyarországon még annyira nem elterjedt, de úgy gondolom, hogy ez a jövő. Értem ezalatt, hogy a nagyvárosok zsúfoltsága miatt egyre több alagutat fognak építeni, hogy felszíni forgalmat valamint a zajhatást csökkentsék. Emellett egy esetleges külföldi munkalehetőség is nagyon vonz Svájcban, vagy Németországban, ahol az autópálya építések során a domborzati akadályok, és környezetvédelmi indokok miatt rengeteg alagút készül.

Nagyon örülök, hogy egy teljesen valós projektről fogok írni, mert így minden adatom és értékem reális lesz. A külső konzulensem is, aki az UNITEF'83 Zrt munkatársa rendkívül hálás volt, amiért egy szaktársammal együtt írunk a projektről, mert így kétféle változatot is bemutathatunk, ami által lehetőségük van bebizonyítani, hogy ők a jobbik megoldást választották ki a feladat megoldására.

II.Megbízás

A Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar mélyépítési szak bízott meg a diplomamunka elvégzésével 2015 őszi félévében.
Ennek keretein belül kezdtem meg a számomra megfelelő belső konzulens keresését, bízva abban, hogy a fent említett témában tudom megírni a szakdolgozatomat. Így esett a választásom Telekes Gábor tanár Úrra, aki szerencsére azonnal tudta, hogy kit kell felhívni, hogy mielőbb sikerrel járjunk. Így találtunk rá az UNITEF'83 Zrt-re, akik épp most dolgoznak az M0-ás legújabb szakaszának előkészítésén és készek voltak segíteni.

Azt az információt kaptam, hogy az alagutak NATM technológiával készülnek, mert ezt találták a legegyszerűbb és leggazdaságosabb megoldásnak. Ennek ellenére én bátorkodtam valamilyen fúrópajzsos módszerrel elvégezni a feladatot, mert diáktársam már neki látott a szakasz elkészítésének az osztrák módszerrel. A feladatom tehát a 3,2 kilométeres alagút 100 méteres szakaszának elkészítése körülbelül 110 méter mélységben a homokköves részben. Az alagút további része ennek mintájára készülne el.

III.Az M0-ás története és befejező szakasza

Az M0-ás autóút egy Budapestet körbevevő gyorsforgalmi út. Tervezett hossza 108 km, amiből 2015-re körülbelül 77 km készült el.

Az M0-s 4 fő szektorra osztható:

- M0 **déli** szektor: az 1-es főút és M5-ös autópálya között,
- M0 **keleti** szektor: az M5-ös és M3-as autópályák között,
- M0 **északi** szektor: az M3-as autópálya és a 10-es főút között,
- M0 **nyugati** szektor: a 10-es főút és az 1-es főút között.

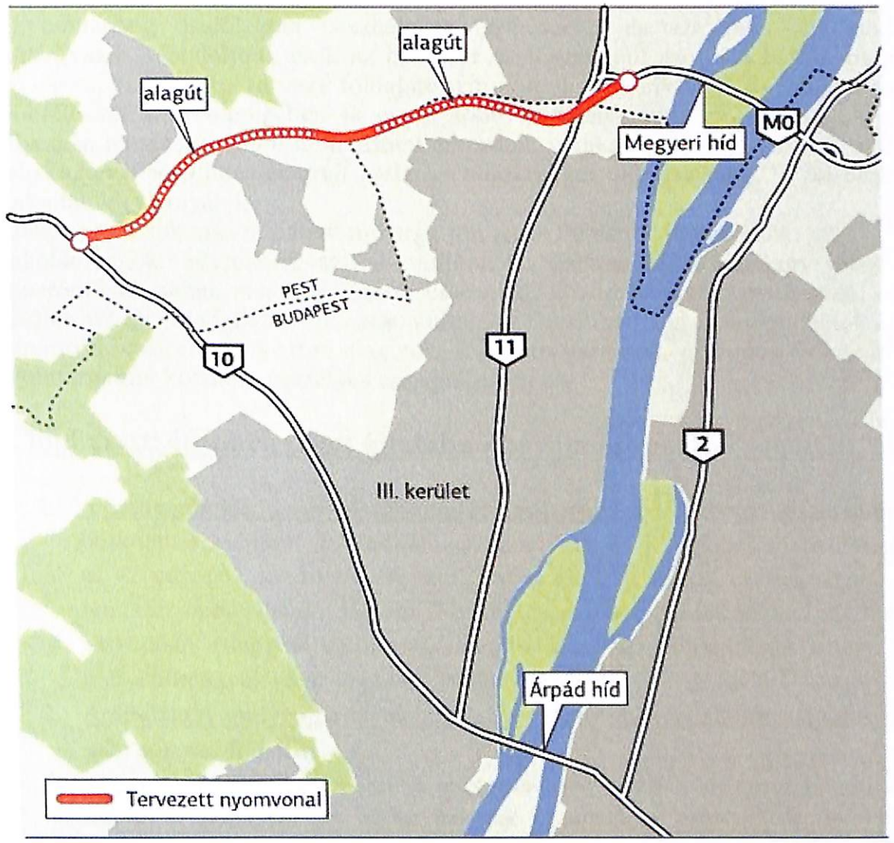
A főváros körüli gyorsforgalmi út gondolatát először dr. Vásárhely Boldizsár, a budapesti Műegyetem egykori professzora fogalmazta meg még 1942-ben. A komolyabb tervezgetés csak az 1970-es években kezdődött, amikor már akkora volt a külső körutak forgalma, hogy aktuálissá vált egy autópálya-körút létesítése. Az 1977-es tanulmány 36-58 ezer egységjárműre becsülte a déli szektor 2010-es napi forgalmát. Ez a járműmennyiség kétszer négy sávot igényelne az úgynevezett „megfelelő" szolgáltatási szint biztosításához, az „eltűrhető" szinthez kétszer három sáv is elegendő lenne. Végül csak kétszer két sáv lett belőle költség hiány miatt. Az építkezés megkezdésére egészen 1987-ig kellett várni. 1990-ben adták át az első nagyobb szakaszt, ami a 6-os utat kötötte össze az M5-ös autópályával. Első lépésben az eredetileg tervezett kétszer háromsávos sztrádát takarékossági okokból autóúttá karcsúsították. A szerényebb műszaki tartalommal megvalósult megoldás következtében az utat gyakran Halálútként emlegették. 1999-2003 között az útpálya közepére végig betonelemeket helyeztek el a balesetek elkerülése érdekében a forgalmas déli szektor két irányt elválasztó sávjára.

M0 befejező szakasza:

Az M0 legújabb, északnyugati szektorának elkészítése az eddigi szakaszok közül a legdrágább, ami annak tudható be, hogy tartalmaz egy 5,2 kilométer hosszú alagutat valamint egy völgyhidat is. Az irányonként két forgalmi sávos úton három csomópont épül, ha pedig 2018–2020 között elkészül, az autósok kilencvennel hajthatnak rajta a 10-es főútig. A főváros elkerülésére megálmodott körgyűrű azonban még így is csonka marad, befejezése újabb alagutak építése után egy évtized múlva várható az M1-es autópályánál.
Első alagútja mintegy két kilométer hosszú lesz, az Ezüsthegy alatt halad, és a Budakalászi útnál ér véget. Az autósok itt egy csomóponton lehajthatnak az autóútról, vagy tovább haladhatnak egy újabb, 3,2 kilométer hosszú alagúton. Északról kerülve elhaladhatnak Üröm, délről Pilisborosjenő Lazarét néven jegyzett területe alatt, majd a Köves-bércnél, a már rekultiváció alatt álló szeméttelepen bukkanhatnak ki a föld alól, és érhetik el 10-es főutat.

Az M0-s tervezett északnyugati nyomvonala

FORRÁS: NÉPSZABADSÁG-GYŰJTÉS / NÉPSZABADSÁG-GRAFIKA



A lezáró szakasz gyors megépülésére nem érdemes fogadni. Erre utal, hogy a döntéshozók is úgy számolnak: a beruházás jogerős környezetvédelmi engedélye 2016 harmadik negyedévére lehet meg. Az engedélyezési tervek így legkorábban 2018 első felére készülhetnek el, míg az építési engedélyre alighanem 2018 végéig kell majd várni. A finanszírozási lehetőségektől, a területszerzéstől, a régészeti feltárásoktól, illetve a lőszermentesítéstől függően az építkezésre 2020 és 2024 között kerülhet sor.

IV. Földalatti építmények kialakulása

Az emberiség ősidők óta használja a természetes és az épített földalatti tereket, műtárgyakat. Gondoljunk csak az ősember szálláshelyéül szolgáló barlangokra, vagy az egyiptomi királyi sírokra vagy földalatti templomokra. A civilizációs fejlődés során egyre többféle célra és tömegében is egyre több földalatti műtárgy létesült. A történelem folyamán rengeteg háború dúlt. Amint elkezdtek várakat építeni, előtérbe került az onnan való észrevétlen kijutás is, amit barlangrendszerekkel oldottak meg. Ezzel párhuzamosan alakultak ki a bányák is.
Ezeken kívül sok más földalatti műtárgy jött létre. Például a következők:
Lakóbarlangok, egyiptomi, szíriai templomok, sziklasírok, középkori város alagútjai, vízierőművek aknái, alagútjai, üzemi csarnokai, közúti alagutak, óvóhelyek, olajtárolók, hűtőházak, szennyvíztisztító telepek, kulturális létesítmények, metróhálózatok alagútjai és műtárgyai, csatorna és közmű alagutak, földalatti garázsok, gyalogos és közúti alagutak, gyorsforgalmú közutak, veszélyes anyagtározók.

A föld alatti építményeket általában három csoportba sorolhatjuk:

1. A legrégebbiek a bányászati mélyépítmények, melyek egy része méretekkel és burkolattal kiépített szállítóhálózat, amelyhez az ideiglenes biztosítással kiépített és az anyagok kitermelésére szolgáló tárók és vágatok csatlakoznak. Ez utóbbi rendszer nem állandó, hanem folyamatosan mozog a termelőhelyek változásához igazodóan. Alapvető különbség van tehát e mozgó és ideiglenes jellegű bányászati mélyépítmények és az alagutak között.
2. A földalatti mélyépítmények második csoportját képezik az alagutak, melyekről még sok szó fog esni.
3. A harmadik csoport a háborús légitámadások elleni védelem céljából, személyek, anyagok, raktárak, sőt egész üzemek biztonságos elhelyezése érdekében épülő óvóhelyek csoportja.
4. Végül legújabban a világvárosok beépített nagy forgalmú belső részeiben egyre inkább jelentkezik a belső terület térszín alatti részének kihasználása, nemcsak közlekedés vagy háborús védelem, hanem bármilyen békés tárolás céljaira. Ide tartoznak elsősorban a földalatti garázsok és autóparkoló helyek.

4.1 Alagutak célja és osztályozása

A társadalom fejlődése a közlekedés és szállítás igényeinek óriási megnövekedését hozta magával. Ez a fejlődés a legkomolyabb természeti akadályok előtt sem hátrált meg. Ha hosszabb-rövidebb időre a közlekedést a folyók, hegységek, tengerek vissza is tartották, az emberi törekvés ezt is felülmúlta. A folyók fölött hidak, a hegységek alatt alagutak kapcsolják össze egyre nagyobb számban és méretekkel az addig egymástól elkülönítve élő területeket és fejlesztik egyre szorosabbá az emberiséget.

Az alagutak célja a közlekedésnek vagy szállításnak bizonyos akadályokon keresztül való biztosítása. Aszerint hogy milyen akadályokról van szó és milyen közlekedési vagy szállítási célt kell biztosítani, az alagutaknak többféle csoportját különböztetjük meg.

A gátló akadály lehet domborzat, víz, beépített városi vagy ipari terület és az alagutak vezethetnek hegységek, hegyek, dombok, folyamok, tengerszorosok vagy beépített városi, ipari területek (épületek és úttestek) alatt.

Céljuk szerint pedig a vasúti, közúti, gyalogos vagy vízi közlekedést, víz, villany, gáz, szennyvíz stb. szállítását biztosíthatják.

<u>Rendeltetésük szerint az alagutak kétféle csoportba oszthatók:</u>

• Közlekedési alagutak:
- vasúti
- közúti
- hajózó
- gyalogos
- földalatti vasúti

• Szállító alagutak:
- Vízerőmű alagútjai
- Vízellátás alagútjai
- Közmű alagút
- Szennyvízszállító alagút
- Ipartelepi szállító alagutak

• Helyszín és vonalvezetés szerint:
- Kéreg alatti alagutak
- Sekély mélységű alagutak
- Nagy mélységű alagutak:
  - Hágó alagutak
  - Talp alagutak
  - Hegyorr alagutak
  - Lejtőalagutak

4.2 Az alagútépítés rövid története:

Az alagútépítés története tulajdonképpen a történelem előtti időkbe nyúlik vissza, amikor az ősember az időjárás viszontagságai, és ellenségei elől való védekezés céljából vájt magának a természet alkotta barlangokhoz hasonló, vagy azokat kibővítő vágatokat, üregeket.

Régészeti feltárások bizonyítják azt is, hogy már a kőkorszakbéli ember megkezdte a bányászat érdekében is a földalatti üregek kihajtását. Ezek körszelvényűek, és bizonyos rendszeres hálózatra mutatnak.

1.A legrégibb alagút Semiramis királynő idejében épült Babilonban az Eufrátesz folyó alatt nagyjából 4000 évvel ezelőtt. Méretei: 3,6x4,5 méter és 1 km hosszú. A királyi palotát és Jupiter templomának földalatti összekötése céljából készült.
Az építés alatt elterelték az Eufrátesz folyót az eredeti medréből, és a felszínen építették meg az alagutat (kitakarásos módszer). Az alagút falazatát bitumenhabarcsba rakott tégla alkotta és a szelvényt boltozattal fedték le.
A következő folyó alatti alagút csak 4000 évvel később, 1843-ban készült el a Temze alatt Londonban.
Igen sok alagutat építettek háborús céllal az ókorban az ellenséges várfalak aláaknázására vagy megkerülésére.
Ivóvíz szállítására is építettek alagutat például Jeruzsálemben, mert egy hosszú ostromtól tartottak. A rómaiak is híresek voltak a vízellátó alagútjaikról.

2. Hajózható csatornák építése a XVII. században indult meg Angliába és Franciaországban. Nagyon szigorú lejtési feltételeket kellett tartani a belvízi hajózó csatornáknál, ezért már a legkisebb domb is szükségessé tette az alagút építését.

3. Hajózást felváltotta a vasút dinamikus fejlődése. A szigorú lejtési feltételek a magassági vonalvezetésben szükségessé tették az alagutak építését. Az első 1829-ben készült el a Liverpool-Manchester vonalon.

4. A víz alatti alagutak építésének szükségességét a vízfolyások mellett elterülő világvárosok közlekedési igényeinek rohamos fejlődése és a városi élet „sebességének" hallatlan méretű fokozódása hozta magával. Először a víz alatti közúti, majd földalatti vasúti és legújabban a közműalagutak építése sorolható ide. 1807-ben kezdték el építeni a Temze alatti alagutat, melybe a víz csakhamar betört. Az építést 15 év után folytatta egy Brunel nevű mérnök az általa feltalált fúrópajzzsal. Még így is sok nehézséget kellett leküzdeniük, de végül 1843-ban átadták a 6,7x11,3 m szelvényű kétvágányú 406 m hosszú vasúti alagutat. A Brunel féle első fúrópajzs négyszögletes volt. Az alagút falazata téglából készült.
A hengeres fúrópajzsot Greathead dolgozta ki és alkalmazta is eredményesen a Tower-alagút építésénél ahol már öntöttvas tübbingeket is használt.

5. A pajzsos építési módszert legújabban a moszkvai és leningrádi földalatti vasút építői tökéletesítették. A pajzsokat hatásos földfejtő gépekkel és szállítógépekkel, valamint falazó karokkal látták el, ami 15 méterre fokozta a napi haladási sebességet szemben a Brunel féle napi 25 centiméterével.

4.3 Alagutak elhelyezkedését befolyásoló tényezők:

Az alagút elhelyezését, vonalvezetését általánosságban a közlekedési és szállítási igények, kapcsolatok határozzák meg, viszont a pontos helyét a geológiai viszonyok szabják meg.

A geológiai kutatás célja a kőzetek keletkezésének és lehelyezkedési körülményeinek pontosítása, a hidrológiai adatok és a földalatti gázok, valamint a várható hőmérséklet felkutatása, az alagút vonalába eső kőzetek fizikai, mechanikai és szilárdsági tulajdonságainak megállapítása és az alagút vonalában várható kőzetnyomások nagyságára befolyással bíró geológiai tényezők meghatározása.

Geológiai kutatások célja:

1. A kőzetek keletkezésének és elhelyezkedési körülményeinek megállapítása
2. Hidrológiai adatok és a földalatti gázok, valamint a várható talajhőmérséklet felkutatása
3. Az alagút vonalába eső kőzetek fizikai, mechanikai és szilárdsági tulajdonságainak megállapítása
4. Az alagút vonalában várható kőzetnyomások nagyságának meghatározása

Geológiai vizsgálatok:

• A tervezést megelőző geológiai feltárások, amely a környezet domborzatát, kőzettani viszonyait, rétegződését és vízrajzát hivatott feltárni.

• A tervezés közben folyó, a kivitelezést megelőző részletes geotechnikai vizsgálatok mely során meghatározandó a harántolt kőzet és talajrétegek fizikai, szilárdsági és kémiai tulajdonságai, valamint állapota (állottság, repedezettség, relatív tömörség, konzisztencia)

• Építés közbeni folyamatos geológiai feltárás alatt ellenőrizni kell az alagútépítés során a kifejtett talaj/kőzet állapotát, egyezését a tervben szereplő rétegekkel a biztosítás megfelelősége miatt, továbbá az esetleges tervmódosítások céljából.

Tervezést megelőző általános geológiai vizsgálatok:

Az általános jellegű vizsgálatok a környék geológiai történetére, az egyes kőzetek felépítésének és korának megismerésére is ki kell terjednie. A földkéreg kialakulásának során leülepedett és kialakult kőzetrétegek azonban csak a legritkább esetben maradnak meg az eredeti helyzetükben. A Föld szilárd kérgének lehűlése és az ezzel járó összehúzódások, valamint az állandó belső és néha felszínre is törő vulkáni hatások a már leülepedett kőzeteket is állandó mozgásban tartják. Redők keletkezhetnek, vagyis a rétegek kihajlanak, összegyűrődnek, ha a kőzetrétegre két ellentétes irányú nyomóerő hat.

A tervezést megelőző részletesebb helyszíni vizsgálatok:

Tanulmányok, és szemlék alapján kell pontosan megállapítani, hogy a tervezést megelőző részletesebb helyszíni kutatásokat hol és milyen módszerekkel kell végrehajtani.
Igen jó szolgálatot tesznek már a helyszíni szemlével egy időben végezhető úgy nevezett roncsolás mentes talajkutató eljárások, amelyek a talajrétegek elektromos ellenállásának,

illetőleg a robbantási vagy a lengési hullámok tovaterjedési sebességének változásait mérve, lehetővé teszik, hogy a talaj- és kőzetrétegek fekvésére, változására, valamint a talajban és kőzetekben elhelyezkedő vízrétegekre következtethessünk. Ezek után kerülhet sor a tényleges talaj- vagy kőzetfeltárásokra, amely próbafúrások, kutatóaknák és kutató tárók segítségével történik.

A tervezés közben végzett helyszíni kutatások:

Tervezés közben kell megállapítani az átharántolandó kőzetek fizikai, szilárdsági és kémiai tulajdonságait, valamint várható víz-, gáz- és hőmérsékleti viszonyokat. Erre már a fúrások nem nyújtanak elegendő pontosságot. Ezeket aknákkal való felderítéssel végzik. Ezek az aknák rendszerint függőlegesek, és úgy kell őket elhelyezni, hogy a későbbi üzemi szakaszokban is felhasználhatóak legyenek. Az építésnél anyagszállításra, közbenső szakaszok építésének megindítására, az alagutak végleges üzemeltetésekor pedig szellőzésre és vízeltávolításra szolgálhatnak. Aknával való felderítés lehetővé teszi a belső rétegek fekvésének, dőlésének, vastagságának megállapítását, valamint felvilágosítást ad a vízvezető rétegek fekvéséről, egyéb vizekről és a víz kémiai tulajdonságairól.
Az aknákkal való felderítésnek csupán gazdasági hátrányai vannak, hiszen jóval drágább, mint a fúrás és nagy mélységre csak akkor vihető le, ha nagyobb átmérővel és végleges céljának megfelelő szilárd falazattal épül meg. Az aknákban mód nyílik a kőzetfeszültségek és így közvetve a kőzetnyomások pontosabb mérésére is.
A nagy bázis alagutaknál előfordul, hogy pilotvágatot, vagy pilotalagutat építenek – az 1000 m-nél nagyobb kőzettakarásnál - a geológia megismerése miatt, de a földtani rétegek fekvése, dőlése, vízvezető réteg felderítése fúrásokkal és a fúrásokban végzett mélyfúrási-geofizikával végzik.

4.4 Alagutak vonalvezetését befolyásoló tényezők:

• Nyomvonal megválasztás: Az alagutak nyomvonalának megválasztása elsősorban a szóban forgó közlekedési vagy szállítási érdektől függ, tehát a vasútvonal vagy útvonal rendeltetésének függvénye. Helyének szűkebb kijelölését már a geológiai, hidrológiai viszonyok, a beépítettség, a környezetvédelem és a társadalmi, szociális érdekek döntik el.
• hossz-szelvény megválasztás: Szintén a közlekedési vonal rendeltetése, tehát a forgalom létesítésének és az üzem fenntartásának szempontjai határozzák meg. Fontos tudni, hogy milyen magasságban, illetve mélységben vezetjük majd, mert ettől függ, hogy milyen rétegben és szárazban vagy víz alatt építünk-e.
• keresztszelvény megválasztását befolyásoló tényezők:

1. Az alagútban közlekedő járművek méreteire és szállítására kerülő anyagokra való tekintettel megállapított űrszelvény.
2. A talajnem, annak szilárdsága, víztartalma és kőzetnyomása
3. Az alkalmazott munkamódszer
4. Az alagútfalazat anyaga és szilárdsága, valamint a falazatra ható belső terhelések.
5. Egy vagy két vágány, illetőleg forgalmi sávelhelyezése.

illetőleg a robbantási vagy a lengési hullámok tovaterjedési sebességének változásait mérve, lehetővé teszik, hogy a talaj- és kőzetrétegek fekvésére, változására, valamint a talajban és kőzetekben elhelyezkedő vízrétegekre következtethessünk. Ezek után kerülhet sor a tényleges talaj- vagy kőzetfeltárásokra, amely próbafúrások, kutatóaknák és kutató tárók segítségével történik.

A tervezés közben végzett helyszíni kutatások:

Tervezés közben kell megállapítani az átharántolandó kőzetek fizikai, szilárdsági és kémiai tulajdonságait, valamint várható víz-, gáz- és hőmérsékleti viszonyokat. Erre már a fúrások nem nyújtanak elegendő pontosságot. Ezeket aknákkal való felderítéssel végzik. Ezek az aknák rendszerint függőlegesek, és úgy kell őket elhelyezni, hogy a későbbi üzemi szakaszokban is felhasználhatóak legyenek. Az építésnél anyagszállításra, közbenső szakaszok építésének megindítására, az alagutak végleges üzemeltetésekor pedig szellőzésre és vízeltávolításra szolgálhatnak. Aknával való felderítés lehetővé teszi a belső rétegek fekvésének, dőlésének, vastagságának megállapítását, valamint felvilágosítást ad a vízvezető rétegek fekvéséről, egyéb vizekről és a víz kémiai tulajdonságairól.
Az aknákkal való felderítésnek csupán gazdasági hátrányai vannak, hiszen jóval drágább, mint a fúrás és nagy mélységre csak akkor vihető le, ha nagyobb átmérővel és végleges céljának megfelelő szilárd falazattal épül meg. Az aknákban mód nyílik a kőzetfeszültségek és így közvetve a kőzetnyomások pontosabb mérésére is.
A nagy bázis alagutaknál előfordul, hogy pilotvágatot, vagy pilotalagutat építenek – az 1000 m-nél nagyobb kőzettakarásnál - a geológia megismerése miatt, de a földtani rétegek fekvése, dőlése, vízvezető réteg felderítése fúrásokkal és a fúrásokban végzett mélyfúrási-geofizikával végzik.

4.4 Alagutak vonalvezetését befolyásoló tényezők:

• Nyomvonal megválasztás: Az alagutak nyomvonalának megválasztása elsősorban a szóban forgó közlekedési vagy szállítási érdektől függ, tehát a vasútvonal vagy útvonal rendeltetésének függvénye. Helyének szűkebb kijelölését már a geológiai, hidrológiai viszonyok, a beépítettség, a környezetvédelem és a társadalmi, szociális érdekek döntik el.
• hossz-szelvény megválasztás: Szintén a közlekedési vonal rendeltetése, tehát a forgalom létesítésének és az üzem fenntartásának szempontjai határozzák meg. Fontos tudni, hogy milyen magasságban, illetve mélységben vezetjük majd, mert ettől függ, hogy milyen rétegben és szárazban vagy víz alatt építünk-e.
• keresztszelvény megválasztását befolyásoló tényezők:

1. Az alagútban közlekedő járművek méreteire és szállítására kerülő anyagokra való tekintettel megállapított űrszelvény.
2. A talajnem, annak szilárdsága, víztartalma és kőzetnyomása
3. Az alkalmazott munkamódszer
4. Az alagútfalazat anyaga és szilárdsága, valamint a falazatra ható belső terhelések.
5. Egy vagy két vágány, illetőleg forgalmi sávelhelyezése.

4.5 Kőzethőmérséklet szerepe:

A kőzet hőmérsékletingadozás a felszínen 50 C°-ot is meghaladhatja.
Minél mélyebbre hatolunk a földkéreg felszíne alá, annál kevésbé éreztetik hatásukat a külszíni akkumulációk és ingadozások. 20-25 méteres mélységben teljesen meg is szűnnek.
A kőzet hőmérséklete pedig a föld belseje felé haladva emelkedik.

• **Geotermikus mélységi gradiens (földhőmérsékleti mutató):** Értéke az 1 C° hőmérséklet-emelkedéshez tartozó mélységet adja meg. **(G)**
• **Hőgradiens:** A geotermikus mélységi gradiens reciproka, azt adja meg, hogy 1 m mélységhez mekkora hőfokemelkedés tartozik.

4.6 Alagutakra és földalatti létesítményekre ható erők általánosságban:

• Víznyomás
• Földnyomás: Ez alatt a kohézió nélküli vagy plasztikus tömegeknek az üreg támaszaira nehezedő nyomását értjük, ahol tehermentesítés nem alakul ki, és ha támaszok nem volnának, akkor a leszakadó terhelő anyag az üreget előbb vagy utóbb teljesen kitöltené és megszüntetné.
• Egészen kis mélységű, kéreg alatti alagutak esetén, a felszínen közlekedő járművekből adódó dinamikus terhelés
• Kőzetnyomás: Az üregnyitással megbontjuk az egyensúlyt. Az egyensúly megbontása következtében az üreg belseje felé akar elmozdulni a környező kőzettömeg. Az üreg fenntartása érdekében a kőzettömegek benyomódását megtámasztó szerkezettel kell megakadályozni. Ez a benyomódást akadályozó nyomás a kőzetnyomás.
A kőzetnyomás értéke függ a hegy belsejében nyitott üreg nagyságától, a kibontás módjától, a megtámasztás módjától, az üreg megtámasztás beépítése előtti nyitva tartásának idejétől valamint a kőzet kezdeti feszültségeitől.

V.Kőzetnyomások

5.1 Kőzetnyomás keletkezésének okai:

-A kőzettömeg fellazulása
- Az alagút fölötti kőzettömegek súlya
- Tektonikus erők
- A kőzettömeg térfogat-növekedése, a kémiai vagy fizikai okokból bekövetkező duzzadás.

5.2 Kőzetnyomások fajtái:

- Lazulási nyomás: A kifejtett üreg fölötti kőzettömeg viselkedése az üreg főtéjének a terhelés hatására bekövetkező behajlása folytán olyan silóban lévő talajtömeg viselkedéséhez hasonló, melynek alján nyílás van, aminek fedele lefelé mozog.

- Valódi hegynyomás: A valódi hegynyomás akkor alakul ki, ha a kifejtett üreg körül kialakuló és az eredeti nyugalmi állapothoz képest megnövekedett felszültségek a hegyanyag szilárdságát nemcsak a főtében, hanem az oldalfalaknál is meghaladják. Abban az esetben, ha a kőzet szilárdságát a fellépő feszültségek nem haladják meg, akkor valójában nem alakul ki olyan kőzetnyomás, amelyet mesterséges falazattal kellene felvenni. Minél kisebb a kőzet szilárdsága, annál kisebb takarási mélységnél léphet fel valódi hegynyomás.

- Duzzadási nyomás: Egyes, agyagszerűen állott, vagy agyaggal átszőtt kőzetekben, és agyagokban valamint gipszben és anhidrit kőzetekben jelentkezik bizonyos körülmények között a duzzadási nyomás. Ennek oka, hogy az ilyen jellegű kőzetek ugyanúgy, mint az agyagok, bizonyos tehermentesítés hatására duzzadni fognak. A jobban terhelt környezetükből vizet vonnak el, ami duzzadásukat még jobban elősegíti, miközben szilárdságuk csökken.

5.3 Kőzetnyomás meghatározása:

Két leginkább ismert módja: Terzaghi féle,- vagy Protodjakonov nevével fémjelzett kőzetnyomás elmélet.
Személy szerint a Protodjakonov módszert választottam, hogy az átboltozódást és a földnyomást kiszámoljam, így ezt mutatom be.

5.4 Protodjakonov módszer:

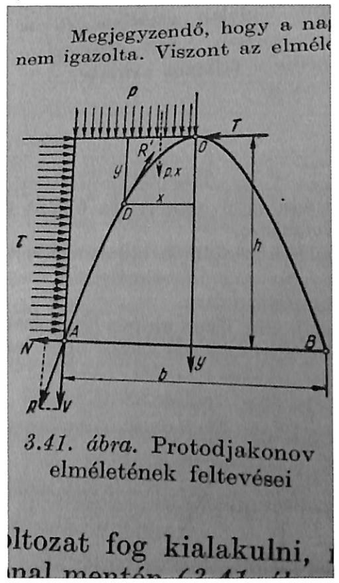
A szovjet alagút és földalatti vasút-építések kedvező tapasztalatai nyomán terjedt el a gyakorlatban és amelyet bizonyos korlátozások mellett jól lehet használni. Protodjakonov

is szemcsés talajra dolgozta ki hegynyomás elméletét. Feltételezi, hogy a kibontott üreg felett boltozat fog kialakulni, melynek egyensúlya akkor lehetséges, ha az AB vonal mentén csak nyomófeszültségek lépnek fel, hajlító nyomatékok nem. Ezen feltétel alapján a boltozat vonalára egy parabolát vezet le. Az ív tetszőleges DO szakaszán a következő erők működnek:

a, Az O tetőpontban a boltozat jobb felében ható reakcióerők T vízszintes eredője

b, A függőleges nyomás a px eredője.

c, Az ív alsó felére ható erők érintőlegesen mutatkozó reakciója, R' a D pontban.



3.41. ábra. Protodjakonov elméletének feltevései

A D pontra felírva a nyomatékok 0 értékűségét: $M_D = -T*y+px^2/2=0$

Az A válltámaszpontban a nyomást az R eredő fejti ki, amely a V normális és N vízszintes összetevőkre bontható. A függőleges összetevő rászorítja a boltozatot a támaszra, a vízszintes összetevő pedig elmozdítani igyekszik. A természetes tehermentesítő boltozat szilárdsága abból a feltételből határozható meg, hogy az N vízszintes erő által okozott elmozdulást a normális erőnek az A-B síkban kifejtett súrlódási ellenállása akadályozza meg.

Vagyis $N=V*f$, ahol $V=p*b/2$, és f, a talaj belső súrlódási tényezője $=tg\varphi$.

A biztonság érdekében még bizonyos tartalékra is szükség van, amit az oldalt fekvő kőzettömegben az elmozdulás ellenében ható T csúsztató feszültségek szolgáltatnak. Tehát felírhatjuk, hogy: $N=p*b/2*f- T*h$, ha a parabola általános egyenletébe behelyettesítjük az x=b/2, y=h és T=N értékeit akkor $T= (p*b/2)*\{(4*f*h-b)/(4*h^2)\}$

A boltozat h magasságát abból a feltételből határozzuk meg hogy a T csúsztató ellenállásnak maximális értéke legyen. $\rightarrow h=b/(2*f)=b/(2*tg\varphi)$.

Visszahelyettesítve megkapjuk a T értékét.

A kihajtott üregre ható nyomás tehát a parabolán belül eső terület súlya lesz, mivel a külső terület súlya már nem nehezedik az üregre. A parabola területe $F=2/3*b*h$; az egységnyi hosszra eső súly pedig $P=1/3*\gamma*b^2/tg\varphi$.

VI. Kőzetek osztályba sorolása

A mérnökgeológiai, kőzetmechanikai gyakorlatban a tagoltságot olyan modellelemnek tekintjük, amely síkként, vagy sík-rendszerként kezelhető. Ezért a görbült, gyűrt felületeket is szakaszonként síkokkal helyettesítjük, majd jellemzésükhöz a szükséges tulajdonságokat megadjuk. A tagoltság felvétele azt jelenti, hogy meghatározzuk:

- a tagoltság kialakulását és rendszerét,
- a tagoltság tágasságát vagy nyitottságát (apertúra),
- a tagoltság folytonosságát és egymástól mért távolságát,
- a tagoló felületek felületi jellemzőit és kitöltöttségét,
- a tagoltság vagy tagoltsági rendszer térbeli elhelyezkedését,
- a tagoltság mértékét.

Az alábbiakban ezek meghatározását, az ismeretükhöz szükséges jellemzők megadásának lehetőségét mutatjuk be.

6.1 Tagoltság kialakulása és rendszere:

Tagoltság alatt mindazokat a diszkontinuitásokat (anyagi folytonossági hiányokat és hibákat) értjük, amelyeket kőzetképződési, tektonikai vagy egyéb tönkremeneteli folyamatok eredményeztek.

A kőzet keletkezéséhez tartozó legjellegzetesebb tagoltsági formák a kőzethatárok és réteghatár, amelyek általában zártak. Ide sorolhatók a kőzetkeletkezéssel együtt járó kihűlési elválások, harántrepedések, illetve a száradási repedések, melyek nyíltak vagy megnyílóak, gyakran utólagosan kitöltöttek.

Tektonikai folyamatok eredményezik az utólagos földtani hatások okozta tagoltságot, amely diszlokáció, földrengés, illetve mállás hatására képződhet. Ide tartozik még a nagy mélységbe eltemetett kőzettestre utólagos kiemelkedéséből, leterheléséből adódó tagoltság is. A vetődés vetősíkokat eredményez, amelyek mentén a kőzetösszlet összetöredezhet, vonszolódási nyomokat mutathat. A gyűrődési redőn mind az antiklinális, mind a szinklinális külső oldalán berepedések találhatók, amelyek kifelé megnyílóak. A belső oldalon nyomásból adódó nyíró repedések fordulhatnak elő.

Földrengés hatására hatalmas kiterjedésű hasadékok keletkezhetnek, amelyek idővel záródhatnak, de a földrengés epicentruma közelében kisebb megnyílások is előfordulhatnak.

A mállás leggyakrabban felszín közelben a már meglévő tagoltságot, tagoltsági rendszert nyitja meg, ahol a tagoló felületek közötti tér bemosott törmelékanyaggal, a kőzet mállástermékével kitöltött.

A mérnöki létesítmény kivitelezésekor annak környezetében új tagoltsági rendszerek jöhetnek létre. Tagoltság alakul ki a létesítmény kőzetkörnyezetében akkor, ha a megváltozott feszültségviszonyok és/vagy a jövesztés dinamikus hatása miatt a kőzetkörnyezetben lokális tönkremenetel jön létre.

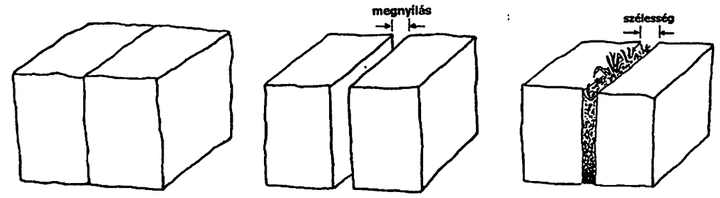
Repedésről akkor beszélünk, ha a tágasság és a felületi érdesség egy nagyságrendben van, hasadékoknál a tágasság nagyságrendekkel haladja meg a felületi egyenlőtlenséget; a hazai gyakorlatban szokásos megnevezések:

- repedés: mm-cm
- rés: cm-dm
- hasadék: dm-m nagyságrendű.

Látható, hogy a különböző kőzetképződési feltételek és utólagos hatások más-más tagoltsági rendszert hoznak létre. A tagoltsági rendszereket különböző típusokba lehet besorolni, melyeket a 3-2. táblázat tartalmazza a Nemzetközi Mérnökgeológiai Egyesület (IAEG) Matula (1981) ajánlása alapján. A táblázatban a mérnökgeológiai jellegű leírás mellett a kőzetmechanikai megnevezést is megadjuk.

6.2 A tagoltság tágassága, nyitottsága:

Kőzetmechanikai szempontból, a kőzettest mechanikai vizsgálatánál külön jelentősége van az 1 cm-nél kisebb megnyílásoknak. Az ISRM (1978) ajánlása alapján öt különböző kategóriába lehet sorolni a tagoltságokat megnyílásuk alapján: a zárttól az 1 cm-nél nagyobb megnyílásúig, amint azt a 3-3. táblázatban láthatjuk. Ezt szemléletei a 3-1. ábra: a zárt és a megnyílt tagoltságok mellett figyelembe kell még venni, hogy az esetlegesen megnyílt tagoltság kitöltött-e. A kitöltő anyag jelenléte jelentősen befolyásolhatja a kőzettest mechanikai viselkedését, ezért ennek anyagát és szélességét külön meg kell határozni. A tagoltságok tágasság (nagyság) szerinti osztályozását a 3-4. táblázat foglalja össze. Ki kell hangsúlyozni, hogy a karsztjáratok és barlangok ebben a vonatkozásban nem tagoltságként kezelendők, hanem azokat a tagoltsággal összefüggésbe hozható modellelemként kell számításba venni.



6.3 A tagoltságok megnyílásának osztályba sorolása:

Osztály	Megnevezés	Megnyílás mértéke
1.	zárt	< 0,1 mm
2.	közeli	0,1 – 0,5 mm
3.	kissé nyitott	0,5 – 2,5 mm
4.	nyitott	2,5 – 10 mm
5.	szélesen megnyílt	> 10 mm

6.4 Tagoltságok folytonossága és egymástól mért távolsága:

Az azonos tagoltságok a kőzettestben lehetnek folytonosak vagy szakaszosak. Szakaszos tagoltsági rendszer esetén fontos ismerni a tagoltsági szakaszok közötti távolságot, mivel bizonyos távolságon belül, külső vagy belső feszültség hatására összekapcsolódhatnak.

6.5 Az RQD érték a tagoltság mértékének meghatározására

A tagoltság mértékének megállapítására és annak számszerűsítésére az RQD-módszer (RQD = Rock Quality Designation) terjedt el. Ezt a legtöbb kőzettest osztályozási módszer mint alapadatot használja fel. Az RQD értéket előbb fúrómagra határozták meg, majd a szabad sziklafalakon felvehető egységnyi térfogatra eső tagoltsági értékkel is megfeleltették. A legújabb kutatásoknál már a tagolófelület irányát is figyelembe veszik e tényező pontos megállapításánál.

Az RQD érték használatát Deere vezette be 1964-ben, és ma már ez az egyik alapvető mérőszám a kőzettest tagoltságára vonatkozóan. Meghatározásánál a fúrómagból, (melynek átmérője minimálisan 54,7 mm, azaz 2,15 hüvelyk) és a kihozott magmintadarabok hosszának méréséből indultak ki. Maga a mérőszám százalékban adja meg azon daraboknak az összesített hosszát, melyek hosszabbak, mint 100 mm (ill. az angolszász használatban 4 hüvelyk), azaz az RQD érték:

$$RQD = \frac{\Sigma h}{h_b - h_a} * 100\ (\%)$$

ahol Σh_{10} a 10 cm-nél hosszabb darabok összesített hossza, h_b és h_a pedig a vizsgált mélységköz felső és alsó mélysége.
Deere szerint azon fúrások is épnek tekintendők, amelyen a tagoló felület a fúrástengellyel megegyezően helyezkedik el.

6.5.1 Kőzettestek osztályozása az RQD érték alapján

EUROCODE 7-1 szerint a kőzetmechanikai megnevezések

RQD %	Kőzettest minősítése EUROCODE 7-1 alapján	Kőzettest kőzetmechanikai minősítő megnevezése
> 25	Nagyon gyenge	Gyakorlatilag talajként kezelhető
25 – 50	Gyenge	Nagyon töredezett
50 – 75	Megfelelő	Töredezett
75 – 90	Jó	Kisé töredezett
90 – 100	Kiváló	Ép

6.6 Q index (Alagútépítési kőzetminősítő érték)

A Norvég Geotechnikai Intézet (NGI) az addigi nagyszámú alagútépítési tapasztalatokat felhasználva, Barton vezetésével 1974-ben foglalta össze vizsgálódásaik eredményeit, és állította össze kőzetminősítési módszerét kifejezetten alagutak építésre. Az általuk bevezetett módszert a szakirodalom Q módszerként ismerteti (Q: quality). Kidolgozása óta számos alagút építésénél használták, és ma már az egyik legfontosabb kőzettestet minősítő eljárás.
A Q módszer az RMR-rel ellentétben a hatásokat figyelembe vevő jelzőszámokat nem összegzi, hanem a kőzettestet szerkezete, a tagoltságok érdességének és töredezettségének, valamint a feszültségi paraméterek jelzőszámainak szorzatát, illetve hányadosát számolja. A Q értéke minimálisan 0,001, a maximálisan pedig 1000, azaz elméletileg kb. 300 000 különböző földtani kombinációt képviselhet.

$$Q = \frac{RQD}{Jn} x \frac{Jr}{Ja} x \frac{Jw}{SRF}$$

ahol:
RQD: az RQD érték (lásd 3.6.4. fejezet)
a képlet csak RQD > 10 % esetén használható
J_n : a tagoltság csoportjainak számát kifejező számérték,
J_r : a tagoltság érdességének mérőszáma,
J_a : a tagoltság felületi mállottsága,
J_w : a tagoltságban megjelenő víz,
SRF : a feszültség redukáló tényező (SRF = Stress Reduction Factor)

6.6.1 A kőzettest szerkezete

A kőzettest szerkezetét az RQD/J_n (azaz a tagoltság mérőszáma/a tagoltság csoportjainak száma) hányadosa mutatja. Maximális értéke 200 (100/0,5) és a minimális 0,5 (10/20). Az RQD értékét itt 5 egészre kerekítve kell felvenni (azaz 100, 95, 90, stb.).
Ez az érték nagyjából a tagoltságcsoportok számának négyzetével egyezik meg. A repedéscsoportok számát (J_n) gyakran befolyásolja a levelesedés, a palásodás, a palás töredezettség vagy rétegzettség, stb.
A párhuzamos repedések egy része nem látszik, és csak esetenként jelenik meg a fúrómagon törés formájában, de a repedéscsoportok számának meghatározásához „véletlen törés"-ként figyelembe lehet venni.

A tagoltság mérőszámának meghatározása

TAGOLTSÁG	J_n
Ha a kőzet masszív, nincs repedés vagy csak kevés repedés van	0,5-10
Egy repedéscsoport	2
Egy repedéscsoport + véletlen törés	3
Két repedéscsoport	4
Két repedéscsoport + véletlen törés	6
Három repedéscsoport	9
Három repedéscsoport + véletlen törés	12
Négy vagy több repedéscsoport + véletlen törés	15
Töredezett kőzetre	20

6.6.2 A kőzettömbök nyírószilárdsága

A J_r/J_a hányados a tagoltság érdességét és töredezettségét, továbbá mállottságát leíró tényező, és így a kőzettömbök közötti nyírószilárdságról ad információt. Ez az érték az üde állapotú, nem kitöltött, érdes érintkező felületnél a legnagyobb, mivel ebben az esetben a maximális a nyírófeszültséghez a legnagyobb megnyílás tartozik, ami az alagútépítéshez a legszerencsésebb. Amikor agyagkitöltés található a tagoltságban, a nyírófeszültség jelentősen csökken.

A repedezettségi tényező meghatározása

REPEDÉSÉRDESSÉGI TÉNYEZŐ	J_r
Nem folyamatos lépcsős repedés	4,0
Durva vagy rendszertelenül hullámos felület	3,0
Sima vagy egyenletesen hullámos felület	2-1,5
Durva vagy rendszertelen sík felület	1,5
Sima felület	1,0
Egyenletesen sík felület	0,5

A tagoltság elmozdulási tényezőjének (J_a) meghatározása

Zárt repedések esetén	J_a
Összecementálódott, kemény, nem lágyuló anyagoknál(pl.: kvarc)	0,75
Csak felületbevonat képződött	1,5

Agyagásványokat nem tartalmazó kőzettörmelék esetén	2,0
Iszapos vagy agyagos rétegek esetén	3,0
Lágyuló v. kevéssé súrlódó agyagrétegek (gipsz, grafit, stb.) esetén,	4,0

6.6.3 Feszültség-értékek

A feszültségérték két tényezőből tevődik össze: a tagoltságban lévő víz (J_w) és az ún. feszültség-redukciós tényezőből (SRF), melyek hányadosát (J_w/SRF) kell kiszámolni. Az összefüggésben szereplő két érték a következő:

- A J_w a mért víznyomás értéke, mely fordítottan arányos tényezője a tagoltság nyírási szilárdságának, mivel az az effektív feszültséget csökkenti. A víz (ezen túlmenően) lágyulást, és agyag-kitöltés esetén kimosódást is okozhat. A kőzettömbök közötti effektív feszültség kapcsolatában eme két tényezőnek a kombinálása szinte lehetetlen, mivel paradox módon a nagyobb effektív normálfeszültség a nagyobb nyírási szilárdság ellenére kevésbé stabil lehet, mint az alacsonyabb feszültségértékű értéknél.
- Az SRF érték az alagút mélységbeli helyzetéből és a környezeti feszültség viszonyoktól függő tényező. Értéke mérhető 1) a szabad teher a fejtésen keresztül a nyírási zónákban 2) a feszültsége az adott kőzetnek és 3) az összenyomódási terhe a képlékeny nem szabad kőzeteknek. Ezt az értéket, mint egy összes feszültség paramétert kell figyelembe venni.

A repedés-víz redukciós tényező	J_w
Száraz üreg vagy max. 5 l/perc vízszivárgás esetén	1,0
Mérsékelt vízbeáramlásnál, amely esetenként kimossa a kitöltő anyagot	0,66
Nagy mennyiségű vízfolyás, nagy nyomáson (0,25-1,0 MPa), amely nem zárt repedéseken vagy a réskitöltés kimosásával áll elő	0,5-0,33
Nem csökkenő, nagy mennyiségű vízfolyás, nagy nyomáson (1,0 MPa)	0,2-0,05

Feszültségi redukciós tényező	SRF
Gyengült zóna, agyagos v. kémiailag bontott kőzetekben (bármely mélységben)	10,0
Egyetlen gyengült zóna esetén, mely agyagot és kémiailag bontott kőzetet tartalmaz (mélység < 50 m)	5,0
Egyetlen gyengült zóna esetén, mely agyagot és kémiailag bontott kőzetet tartalmaz(mélység > 50 m)	2,5
Vetős zóna többszöri előfordulás esetén, szilárd kőzetben (bármely mélységben)	7,5
Egyetlen gyengült agyagmentes zóna esetén (mélység < 50 m)	5,0
Egyetlen gyengült agyagmentes zóna esetén (mélység > 50 m)	2,5
Nyitott és erősen töredezett kőzet esetén (bármely mélységnél)	5,0

6.6.4 Súlyozott Q-érték meghatározása

A Q tényező meghatározásánál törekedni kell arra, hogy „-tól -ig" határon belül állapítsuk meg az értékeket. Az így meghatározott bemenő adatok súlyozott figyelembe vételével lehet a Q tényezőt számítani. A számítási módot Barton (1993) alapján mutatjuk be, hogy vehetjük figyelembe a Q tényező súlyozott értékének kiszámításánál a mért minimális, maximális, illetve jellemző értéket.

Ezeket az alábbi súllyal kell számolni:

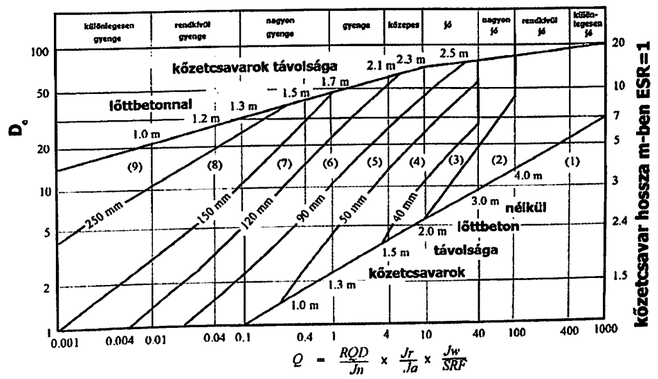
Legrosszabb érték: 10 %
Általános érték: 60 %
Maximális érték: 30 %

Q	legrosszabb (10%)	általános (60%)	max (30%)	súlyozott
RQD	85,0	75,0	55,0	70,0
Jn	2,0	6,0	12,0	7,4
Jr	2,0	1,5	1,0	1,4
Ja	1,5	2,0	4,0	2,6
Jw	1,0	1,0	1,0	1,0
SRF	10,0	10,0	12,0	10,6

Osztályozás Q-tényező alapján

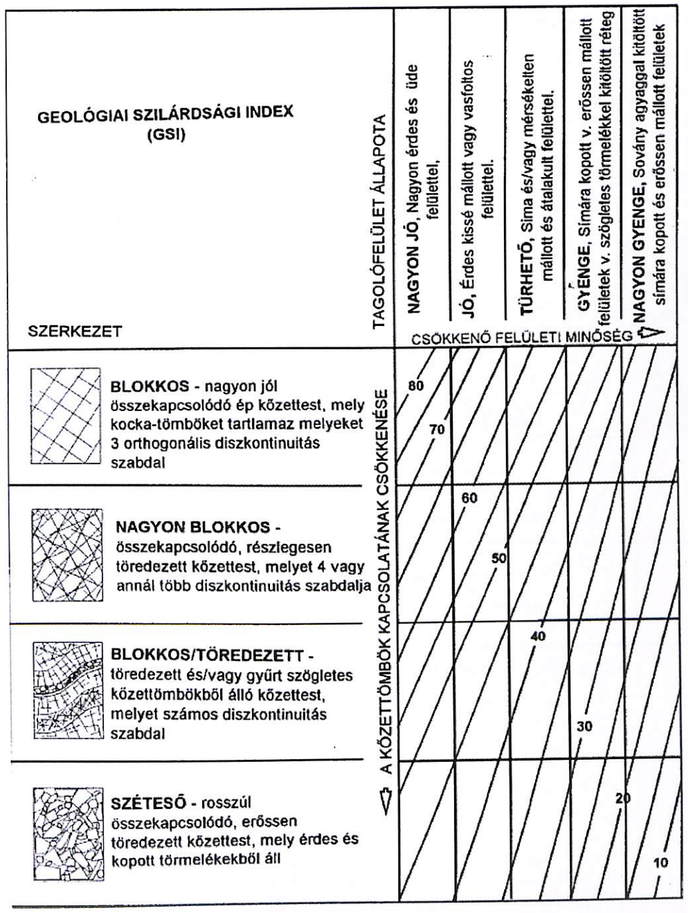
Kőzettest osztályozása Q érték alapján

Osztály	érték	Leírás
I	0,001 – 0,01	különlegesen gyenge
II	0,01 – 0,04	rendkívül gyenge
III	0,04 – 0,4	nagyon gyenge
IV	0,4 – 4	gyenge
V	4 – 10	közepes
VI	10 – 40	jó
VII	40 – 100	nagyon jó
VIII	100 – 400	rendkívül jó
IX	400 – 1000	különlegesen jó

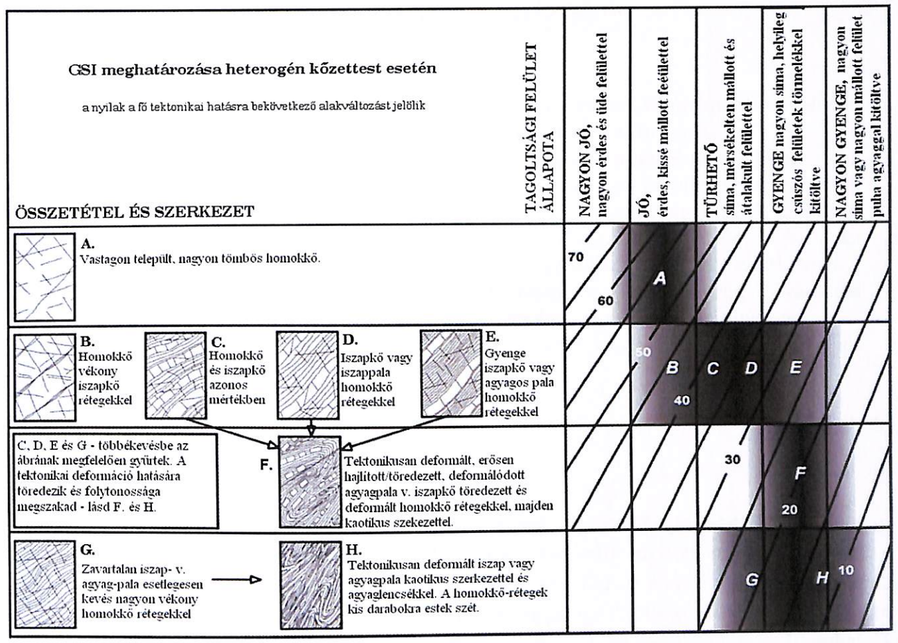


6.7 A Geológiai Szilárdsági Index (GSI)

A Geológiai Szilárdsági Indexet (Geological Strength Index – GSI) Hoek (1994), illetve Hoek *et al.* (1995) vezették be azzal a céllal, hogy a különböző geológiai állapotban lévő kőzettesteket leírhassák (magyarul: Vásárhelyi, 2001). Ezen érték bevezetését az indokolta, hogy rossz minőségű kőzetek leírására az eddigi módszerek nem voltak megfelelőek – az RMR érték a gyakorlat alapján 30 alatt nem adott jó eredményt, illetve a kis tartományban meghatározása nagyon nehéz volt. Mind az RMR, mind a Q tényezőnél az RQD érték bemenő adatként szerepel, ami azt eredményezi, hogy nagyon töredezett kőzettest esetén 0-t kell felvenni, míg a helyszíni tapasztalatok alapján jóval jobb szilárdsági tulajdonsággal rendelkeztek. Ismeretes, hogy a tagolt kőzettest szilárdsága függ az ép kőzet anyagtulajdonságaitól, továbbá a kőzettömbök szabadsági fokától (azaz csúszási és elfordulási lehetőségétől). Ezt a szabadsági fokot befolyásolja mind a kőzettömb geometriai alakja, mind a határoló tagoló felületek minősége, azaz egy tiszta, érdes tagoló felületekkel rendelkező kőzettest jóval nagyobb szilárdsággal rendelkezik, mint amelynek mállottak és töredezettek a határoló tagoló felületei.
Ebből kiindulva szerkesztették meg a következő ábrát, ahol a mátrix oszlopában a kőzettest tagoltsági viszonyai szerepelnek, azaz az, hogy milyen sűrűséggel vannak a tagoló felületek a kőzettestben. A tagoló felület állapotától függ a mátrix sora. A GSI értéke ezek alapján 0 és 100 között változhat: 0 esetén kohézió nélküli – azaz szemcsés – talajt kapunk, ahol az elmélet nem használható. GSI = 100 esetén nincs tagoló felület, tehát a kőzettest és a kőzettömb ugyanaz. Az osztályozásban sem a talajvizet, sem a helyszíni feszültségviszonyokat nem veszik figyelembe, mivel azok külön bemenő adatként szerepelnek a számítási modellekben.



ra. A Geológiai Szilárdsági Index (GSI) meghatározása és értékei



Heterogén kőzettest esetén a GSI értéke

VII.A pajzsos alagútépítés

A pajzsos alagútépítés eszméje Bruneltől származik. A sikeres megvalósításban Greathead végezte az úttörő munkát, ő alakította ki a pajzs ma is használatos formáját.
A pajzsos alagútépítés régen kialakult, elsősorban kézi fejtéssel dolgozó megoldásait, ma a gépesített eljárások váltották fel. A talaj és kőzet fejtése igen gyakran teljesen automatizált módszerekkel történik, és ehhez igazítják hozzá a teljes munkafolyamatot. A kibontott talaj rakodását, szállítását, az alagút falazati elemek beszállítását, elhelyezését, az injektálási munkákat stb. Gazdaságos építés csak a teljes géplánc kialakításával érhető el.
A pajzs lényegében egy mozgó dúcolás, amely biztosítja a kibontott üreg folyamatos megtámasztását, és a biztonságos munkaterületet a fejtéshez és a falazat beépítéséhez.
A pajzsos építés hosszú, kb. 10km-nél hosszabb alagutaknál gazdaságos és különösen jól gépesíthető építési eljárásoknál.

7.1 A földalatti műtárgyak építési módszerei:

• Nyitott építési módszerek.
Ilyenkor a földalatti műtárgy teljes alapfelülete felett eltávolítják a talajt, és az így létrejött, beomlás ellen ideiglenesen megtámasztott, felületről nyitott munkagödörben építik meg az igényeknek megfelelően szigetelt műtárgyat. Ezt az építési módszert akkor alkalmazzák, ha a műtárgy a felszín közelében létesül (gyalogos aluljáró, földalatti garázs, alagutak kezdeti és végszakaszain), vagy járulékos beruházásként a műtárgy feletti tereket is hasznosítani tudják. (metróállomás feletti raktár vagy parkoló.)

• Zárt építési módszerek.
Ezek a műtárgyak úgy épülnek meg, hogy csak a műtárgy külső kontúrja kerül kifejtésre, tehát a műtárgy körüli (feletti, melletti) talajtömeget nem távolítják el. Ezek a műtárgyak mindig csak egy felülről nyitott módszerrel megépített, rendszerint egy függőleges tengelyű akna műtárgyhoz csatlakozóan építhetők meg, hiszen a kitermelt talajt a felszínre kell juttatni, illetve a szerkezet anyagát a mélybe kell szállítani. Az akna egy függőleges vagy ferde hossztengelyű, tetszőleges alakú és méretű keresztmetszettel rendelkező, felülről nyitott földalatti műtárgy. (függőleges akna, lejtős akna) Ez a metróalagutakra jellemző általában. Közúti vasúti alagutak általában három oldalán rézsűvel határolt nyitott munkagödörből indulnak.

7.2 Zárt építési módszer kiválasztásának szempontjai:

- Műtárgy környezete, szilárdság töredezettség, tektonikai igénybevettség, alakváltozási képesség (rideg, rugalmas, plasztikus, viszkozus), talajvíz érzékenység (duzzadás, kimosás, labilitás) kötött vagy kohézió nélküli talajok.
- A kőzetkörnyezetben jelenlévő víz jellege: kötött vagy szabad víz, szennyezettség, nyomása, áramlása, gáztartalma, hőmérséklete.
- A műtárgy mélységi elhelyezkedése:

- Kis mélységű műtárgyak esetén a műtárgy tetőpontja (főtepontja) feletti takarás vastagsága (t) kisebb a műtárgy átmérőjénél (D), illetve fesztávolságánál. $t \leq D$.
- Közepes mélységű műtárgyak $D < t < 2,5D$
- Nagy mélységű műtárgyak $t \geq 2,5D$.

- A felszín beépítettsége.
- A műtárgy keresztmetszetének geometriai alakja, a takaráshoz viszonyított mérete, a műtárgy hossza.
- A műtárggyal szemben támasztott szárazsági igény.
- A kivitelező vállalat felszereltsége és építési tapasztalatai.
- A szerkezet, építési módszer és szigetelés kérdését mindig együtt kell vizsgálni

Bármilyen bányászati módszerrel végezzük az alagútépítést, bizonyos hátrányokkal kell számolnunk. Ezek a következők:
• A végleges falazat megépítése csak több-kevesebb idő elteltével történhet meg és addig a kifejtett üreg csak ideiglenes jellegű dúcolaton (megtámasztáson, biztosításon) nyugszik.
• A homlokfejtés és a végleges (merev) kifalazás előkészítése között sok idő telik el, amellett sokszor a falazat sem készül el összefüggően az egész kerület mentén, csak kisebb megszakításokkal, ami közbenső ülepedésekre ad ismét lehetőséget.
• A szelvény részletekben történő kifejtése és kifalazása az építést erősen lelassítja és a munkatér egységét megbontja, a munkavégzést megnehezíti.

E hátrányok miatt szilárd kőzetekben a szabad homlokfejtéssel megtámasztás nélkül végezhető alagútépítési eljárás alkalmazására törekszenek, és igyekeznek annak alkalmazási határát a kevésbé szilárd kőzetekre is főtefelfüggesztéssel, az egyben kifejtett teljes szelvény vasszerkezetű ideiglenes megtámasztásával egyre nagyobb mértékben kiterjeszteni. Ugyanakkor laza folyós talajokban, egyaránt jól alkalmazható az Új Osztrák módszer, valamint a pajzsos módszer is.

Az alagútfúró pajzs lényegében egy merevített és elöl hátul nyitott vízszintes vashenger, melynek homlokfalánál bontjuk az anyagot, hátulján pedig a végleges burkolatot falazzuk. A pajzsot a munka előrehaladásának megfelelően szakaszosan előretoljuk, úgy hogy a kifejtett üreget mindaddig betakarja, amíg a végleges falazat, vagy biztosítás fel nincs építve.
A pajzsos alagútépítés munkaciklusai tehát:

1. A homlokfal megfelelő hosszban való kifejtése és megtámasztása
2. A pajzs előretolása a már kifalazott alagútszakaszra támaszkodva
3. Az előretolásnak megfelelő hézagba újabb falazat, biztosítás (beton tübbingek) beépítése

Munka közben tehát a homlokfal nincs megtámasztva, (kivétel az aktív homlok megtámasztású pajzsoknál), ezért a fejtéshomlok előrehajtásának mértékét is és a megtámasztatlanul hagyható homlokfelület mértékét is mindig gondosan a talaj- és vízviszonyokhoz igazodva kell megválasztanunk.

A pajzsos alagútépítés négy óriási előnyt nyújt:

1. Az alagútszelvényt egyszerre teljes méretével lehet előrehajtani.
2. Az előrehajtott üregnek mozgó jellegű, de állandó biztosítást nyújt.

3. Az alagútszelvények azonnal a végleges megtámasztást nyújtó béléselemekkel való kifalazását teszi lehetővé, és így mindenféle ideiglenes megtámasztást fölöslegessé tesz.
4. Az építkezést meggyorsítja.

Hátrányai: 1. Drága
2. Sokáig tart a pajzs legyártása ezáltal az építés elhúzódhat
3. Eltérő keménységű talajokon való haladás esetén többféle pajzsot is szükséges lehet legyártani

7.3 A fúrópajzsok szerkezetei és méretei:

Minden pajzsnak három fő része van:

1. A vágóél rész, ami a pajzsnak legerőteljesebb része. Feladata, hogy a hengernek a talajba való bevágódását és minél simább előrehaladását a pajzs deformációja nélkül biztosítsa, és az előrenyomáskor fellépő nagy talajnyomásokat a pajzs testének fokozatosan elosztva adja át. A másik feladata a homlokfal fejtésének és az ott dolgozó munkásoknak a biztosítása, valamint a homlokfal megtámasztása.
2. A törzsrész, melyben az előretoláshoz szükséges hidraulikus sajtók és a mozgásukat szolgáló szivattyúk vannak elhelyezve.
3. A farok rész, melyben az alagútfalazat (beton tübbingek) beépítése folyik. Erről a kész gyűrűről mintegy lehúzzuk a pajzshenger köpenyét.
4. Ezen fő részeken kívül egyes pajzsok még homlokmegtámasztó szerkezetekkel, merevítő osztófalakkal és munkapadokkal is el vannak látva, valamint kiegészítik egyes berendezésekkel, melyek segítik a fejtést, szállítást, falazást, injektálást.

7.4 A pajzsos alagútépítés legfontosabb munkarészei

A pajzs védelme alatti alagútépítésnél a következő munkákat kell elvégezni:

- Földfejtés
- Földelszállítás
- Pajzsmozgatás
- Alagútfalazat beépítése
- Injektálás és alagútfalazat tömítése, vízelvezetés

• A földfejtés: A pajzs homlokrészén a vágóél szakaszban folyik és ez a pajzsos építésnek biztonság szempontjából a legkényesebb része. A pajzsos munkamenet ugyanis megköveteli, hogy a teljes szelvényt egyszerre fejtsük ki, viszont a pajzsot általában puha, laza talajban használunk, ahol sokszor tekintélyes nagyságú homlokfelületek állékonyságának biztosítása nem könnyű feladat.
A homlokfal megtámasztására, stabilizálására a következő eszközök szolgálhatnak:

a) Ernyős pajzs alkalmazása által a beomlást okozó vízszintes nyomások támadó felületét és beszakadás síkját az ernyő előrenyúlásának hosszával a homlokfal belseje felé toljuk, és így az ernyő átveszi a terhek egy részét. Az ernyő akkor is előnyös, ha laza talajokban dolgozunk, és minden előretolás előtt a homlokfalat meg kell támasztanunk.
b) Légnyomásos stabilizálás. Sűrített levegővel való víztelenítés esetén alkalmazzunk.
c) Mesterséges talajszilárdítással is növelni lehet a homlokfal állékonyságát. Közvetett stabilizálásra törekszünk oly módon, hogy nem közvetlenül a homlokfalat, hanem a

főte fölött levő nyomást adó rétegek szilárdításával a homlokfalat is tehermentesítjük.

d) Kihorgonyzó áttörésekkel való felosztás, illetve megtámasztás.
e) Homlokfal teljes lezárása. Ezt olyan folyós, omlós talajokban, ahol a betörés veszély fennáll. A vágó él belső síkjában van rendszerint elhelyezve a merevített acéllemez lezáró fal, melyen át kisméretű beeresztő nyílásokon keresztül jut be a talaj a pajzs belsejébe.

• A földszállítás: két részre osztható. Az első lépésben a homlokfalnál kifejtett talajt a pajzsos térből kell eltávolítani. Második lépésben a kifejtett talajnak a kész alagúton keresztül munkavágányon, csilléken való elszállítása következik.

• A pajzsmozgatás: a legkényesebb része az alagútépítésnek, hiszen ha nem tartjuk a megfelelő irányt és vagy mélységet, akkor az egész projekt meghiúsulhat. A pajzsok mozgatását az előretoló sajtók végzik, tehát ezek pontos együttműködése a legfontosabb feladat.
A pajzs pontos irányban tartását természetesen geodéziai eszközökkel kell biztosítani. Ebből a célból a pajzsok farok szakaszának főtéjén egy dioptra van, ami függőleges és vízszintes irányban is mér.

• Vasbeton tübbingek elhelyezése: előre gyártott, nagy szilárdságú elemekből áll, melyeket gépi segítséggel állítanak a helyükre. A legegyszerűbb ezek közül a kézi hajtású csörlő, amelyekkel a legkülönbözőbb helyzetű falazóelemek elhelyezését is biztosítani lehet. A csörlővel emelik, és a helyéhez közelítik a falazóelemet, majd kézi erővel helyezik el a pontos helyére. Nagyobb alagutaknál már tolókocsira szerelt zászlós karú gémes daruk, vagy forgókaros erektorok szolgálnak a nagyobb súlyú falazó elemek elhelyezésére. Az erektor vákum segítségével egyenként emeli az el előre gyártott vasbeton szegmenseket a helyükre, melyeket a gyűrű zárásáig a hidraulikus sajtók tartanak meg.

• A hátűr injektálása: zárt módszerrel épített alagutaknál fontos művelet. A beépített falazat és a kőzet között ugyanis mindig maradnak üregek, hézagok és ezeknek a kitöltése az injektálások egyik fő célja, emellett azonban az alagút vízzáróságát fokozó feladata is lehet. Kihagyása esetén, a felszínen komoly süllyedések és nyomásnövekedések következnek be. Az üreg képződése és nagysága függ a talajnemtől és a pajzstípustól is.
Az injektálásnak a hátűr kitöltésén kívül még más célja is van, mégpedig szigetelést biztosít, valamint szilárdítja a környező talajt, és ezzel csökkenti az alagútra nehezedő talajnyomást.
Ezek a célok nem mindenfajta injektálással és nem egyforma mértékben érhetők el, hanem injektáló anyagon kívül függenek a talajnemtől is. Az injektálás a falazat körül igen fontos statikai szempontból is. A falazat oldalirányú megtámasztását hatékonyabbá teszi. E nélkül lényegesen megnőnek a falazat igénybevételei.
Az injektáló anyag kiválasztásánál a következő szempontokat kell még figyelembe venni:

- Az üregek, repedések alakját és méreteit
- Az anyag végszilárdságát
- A korróziós hatásokat
- A vízzárási igényt

Általában a többféle célt nem is lehet egyetlen alkalommal végzett injektálással biztosítani. Megkülönböztetünk úgy nevezett első injektálást, mely a hézagok kitöltésére szolgál, és az úgy nevezett utólagos injektálást, melynek főként szigetelési célzata van.
Az első vagy hézagkitöltő injektálást alacsony (5-6 atm) nyomással végzik. A második vagy utólagos injektálás 10-25 atm mellett történik.
Az üregeket kitöltő injektálás leggyakrabban cementhabarcs vagy cement-agyag keverék, de alkalmazzák pajzsos alagútépítésnél ritkábban a gyöngykavicsot is, amelyet elhelyezés után cement szuszpenzióval injektálnak ki. Az első injektálást pajzsos alagútépítésnél a pajzs mögött 2-3 m-re kell végezni, hogy a falazat szilárd megtámasztása biztosítva legyen, és a felszíni süllyedések minél kisebbek legyenek. Az injektálás mindig alulról felfelé haladva történjék a víz alatti betonozáshoz hasonlóan. A második injektálást cement szuszpenzióval, bentonit, vagy agyag hozzáadásával végzik.
Átitatásos injektálás olyan anyagokkal érhető el, amelyek be tudnak hatolni a talaj hézagaiba.
Vegyi talajszilárdítást az alagútfalazat beépítése után, a hátűr kitöltésére ritkán alkalmaznak.
Az injektáló berendezések két fő csoportja használatos:
• Pneumatikus injektáló edények
• Dugattyús injektáló gépek.
A pneumatikus injektálók leggyakrabban a 6 bar-nyomású kompresszorok levegő túlnyomását használják, vagy egy beállított kisebb nyomással dolgoznak. Csak az alagutak első üregkitöltő injektálására alkalmasak. A dugattyús berendezéseknél a nyomás az ellenállás függvényében alakul ki, besajtoláskor mérhető és szabályozható.

7.5 A falazóelemek (tübbingek) szerkezete:

A pajzsos alagútépítési rendszer lényegéhez tartozik, hogy az alagút végleges falazatát olyan elemekből készítsük, melyek azonnal teherbíróak és vízzáróak, valamint könnyen és gyorsan elhelyezhetők.
A falazóelemekkel szemben támasztott követelmények a következők:

1. A külső föld- és víznyomást azonnal nagyobb alakváltozás vagy vízáteresztés nélkül bírják.
2. Az elhelyezés és sokszor durva szállítás közben előálló ütődésekből származó igénybevételeket károsodás nélkül bírják.
3. A pajzs előrehajtásakor rájuk háruló nagy tengelyirányú nyomó igénybevételeket maradó alakváltozás és repedés, lepattogzás nélkül fel tudják venni.
4. Talajvízzel és nedvességgel szemben mind önmagukban, mind a kapcsolataiknál vízzáróak és a víz, valamint a talaj korróziós hatásaival szemben ellenállóak legyenek.
5. Mind az építést, mind az alagút fenntartását tekintve gazdaságosak legyenek.

A falazatok lehetnek egyrétegűek és kétrétegűek is.

Tübbingek anyaga lehet:
1. Öntöttvas
2. Nagy szilárdságú acél

3. Előregyártott beton
4. Vasbeton
5. Előfeszített vasbeton

Az öntöttvasból készült tübbingek peremmel és esetleg közbenső bordákkal merevített héjlemezek, melyeket csavarok kapcsolnak egymáshoz. Megfelelő számú ilyen szegmens alkot egy-egy gyűrűt, és ilyen egymáshoz kapcsolt gyűrűkből áll az alagút. A tübbing elemek közötti tömítés érdekében a tübbing bordák kis vájatokkal vannak ellátva a csatlakozó peremek mentén. Az így keletkező körülfutó és alkotó irányú vájatokat ólomhuzallal verik ki, vagy azbesztzsinóros bitumentömítést helyeznek el benne. Hátránya a nagy vasfelhasználás, valamint az egyes darabok nagy súlya. További hátrány a kedvezőtlen esztétikai megjelenés is, amiért az öntöttvas gyűrűket külön belső burkolattal szokták ellátni. A múlt század 70-es évekig használták azokat a vasbeton tübbingek váltották fel.

Újabban megkísérelték a falazóelemeket nagyszilárdságú acélszerkezettel hegesztve előállítani, sőt kisebb alagutakhoz sajtolt acéllemezből is készítik. A hegesztések elhúzzák a falazóelemeket és vetemedést okoznak, ezért igyekeznek a forma kialakításnál minél inkább sajtolást alkalmazni és csak kevés hegesztést használni. Előnye a súlymegtakarításon kívül, hogy ha a gyűrűket az elhelyezés és a mozgások lecsillapodása után a fugák mentén összehegesztjük, akkor tökéletes vízzárást tudunk biztosítani. Hátrányai, hogy rendkívül korrózió érzékeny, hacsak nem rézötvözésű (korrózióálló) acélt használunk, illetve a gyártási pontatlanság is jellemzi, ami a vetemedésnek tudható be.

Előregyártott beton tübbingek bevezetésére is voltak kísérletek. Kezdetben komoly nehézségek mutatkoztak, melyek közül a legkomolyabb a falazóelem gyűrűk egymáshoz való pontatlan illeszkedése. Az elem méreteinek szabványosítása és a nút-féderes kialakítás azonban már használhatóvá tette. A beton az utolsó 15 évben rengeteget fejlődött ez által a falazóelemek vastagsága és súlya is csökkent.

A vasbeton falazóelemek előnye a betonnal szemben, hogy sokkal nagyobb a szilárdsága és ezzel együtt jelentős méret- és súlycsökkentést sikerült elérni, de még mindig hátra volt a szigetelés és a beton önmagában vett vízzáróságának biztosítása. A betonszilárdság nagymértékű növekedése módot adott arra, hogy az öntöttvas bordás tübbingekhez hasonló bordás kiképzésű vasbeton falazóelemeket vezessenek be az építési gyakorlatba.

Előfeszített beton falazóelemek: A feszítés a beton idomkövekből készített alagútbélés több hiányosságán is segít amellett, hogy nagy anyagmegtakarítást is biztosít. Elsősorban növeli a vízzáróságot, azután biztosítja az egyes gyűrűk monolitikus együttdolgozását, végül pedig kezdeti nagy centrikus nyomófeszültség ébresztésével kiküszöböli a gyűrűből a hajlító igénybevételeket, és így meggátolja a fugák szétnyílását. Az eleinte alkalmazott keresztirányú feszítés mellett ma már a hosszirányú feszítés is kezd az építési gyakorlatba bevonulni.

7.6 Építés talajszilárdítás védelmében:

Kedvezőtlen talajviszonyok esetén, továbbá épületek károsodásának elkerülése érdekében alkalmazzák zárt építési módnál is a talajszilárdítási eljárásokat.
Három jellegzetes csoportja van ezen eljárásoknak:

• A hőelvonáson alapuló fagyasztások
• Az injektálással végzett szilárdítások
• Jet-grountingos talajszilárdítás.

A **talajfagyasztást** a talaj vízzáróvá tételére és szilárdságának növelésére alkalmazzák az építés időszakában, elsősorban szemcsés talajokban, de agyagban is alkalmazható. Ma leggyakrabban a gyorsfagyasztási módszert alkalmazzák, amelynél folyékony, -196 Celsius fokra lehűtött nitrogént nyomnak be fúrócsöveken keresztül a talajba. A nitrogén gázzá alakulása 248 kJ/m3 hőelvonással jár, ezen kívül a felmelegedése is jelentős hőt von el környezetéből. Egy 2 m vastag fagyköpeny 4-6 nap alatt állítható elő. Homoktalajokban 5000-15000 kN/m2 törőszilárdság érhető el – 15 Celsius fokon

Zárt építési módnál közel vízszintes fúrásokkal lehet a fagyköpenyt kialakítani az alagút körül, de lehet a felszínről fúrt közel függőleges csövekkel is fagyasztani.

7.7 Az injektálással végrehajtott szilárdítások:

Két jellegzetes csoportba sorolhatók:

• Szuszpenziókkal (cement, bentonit)
• Folyadékokkal, vegyi anyagokkal végzett szilárdítások.

Repedések, homokos-kavics, durva homoktalajok pórusainak kitöltésére és cementálására alkalmazzák a cementszuszpenziókat, vízzárás esetében betonit vagy agyag hozzáadásával.

Vegyi anyagoknál leggyakrabban a vízüveget, illetve ennek higított oldatát használják. A talajba besajtolt vízüvegoldat megfelelő reagens hozzáadására gélesedési folyamatot indít meg, amelyre szilárdan összekapcsolódnak a talajszemcsék, úgyhogy vízzáró és nagyobb szilárdságú anyag keletkezik.

Budapesten a Kálvin tér közelében folyósodásra hajlamos homoktalajban egyfolyadékos, vegyi talajszilárdítást végeztek vízüveg oldattal. A fúrásokat a felszínről hajtották le. A talaj szilárdsága 500-1000 kN/m2-re emelkedett, így az alagút építése különösebb probléma nélkül megoldható volt.

A jet-grountingos talajszilárdítás:

A jet-grountingos talajszilárdítás abban tér el a hagyományos injektálásos talajszilárdítástól, hogy a szilárdító anyagot, legtöbbször cementtejet nem a meglévő talajszerkezet pórusaiba juttatja el a talajszerkezetének megbontása nélkül és így a talajpórusok szilárdító anyaggal történő kitöltése révén szilárdítja a talajt, hanem nagy nyomású folyadéksugárral megbontja a talajt, és a megbontott talajszuszpenzióba keveri bele a szilárdító anyagot. Az így előállt cementes talajhabarcs megszilárdul, és úgy jön létre a szilárdított talaj. Ezen eljárás nagy előnye, hogy mindenféle talajban sikeresen alkalmazható, a szemétlerakó telepek talajától a puha iszapokon, a folyós homokokon, agyagokon át a töredezett kevert kőzetekig. A szilárdítás végrehajtására háromféle mód van.

• A legegyszerűbb eljárásnál az injektáló fejet rendszerint vízöblítéssel lejuttatják a kívánt mélységbe, kinyitják a fúvókákat és nagy nyomással cementtejet sajtolnak a talaj környezetébe. Az injektáló fej egyidejű forgatásával és felfelé mozgatásával a cementtej

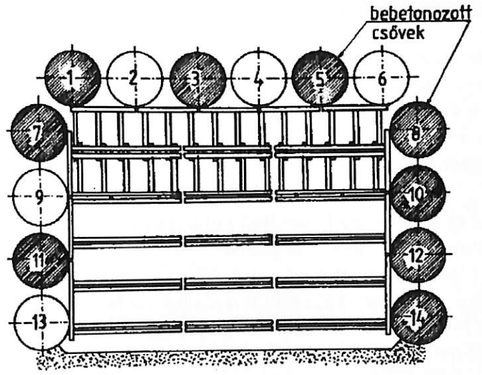
sugár megbontja a talajt és belekeveri a cementtejet. Az így előállított cementhabarcs szilárdul meg és így jön létre a szilárdított talaj.

• A másik eljárásnál két fúvókapár van egymás felett az injektáló fejen. A felsőn nagynyomású vízsugár bontja a talajt (100-300 bar) és az alatta lévőn 10-15 bar nyomással keverik az előállított talajszuszpenzióba a cementtejet.

• A harmadik eljárásnál a vízsugarat levegősugárral veszik körül és így növelik annak bontó hatékonyságát. Ezek a szilárdított talajhengerek készülhetnek felszínről függőlegesen vagy ferdeszögben, de alagútépítéseknél vízszintesen illetve az alagút tengelyével párhuzamosan is a megépült alagútból.

7.8 Építés csőernyő védelmében:

Ez az építési módszer lehetővé teszi a felszín megbontása nélkül nagyobb alagutak áthajtását kismélységben épületek alatt, vasúti pályák, vagy erősen terhelt utak alatt. A lényege az, hogy az alagutat csövekből kialakított ernyő védelmében építik meg.
Az építés azzal kezdődik, hogy acél csöveket hajtanak előre sajtolással úgy, hogy ezek az alagutat felül és esetleg kétoldalt is körülfogják. A csövek elhelyezése után az alagutat a csődúcolás a csőernyő védelmében rövid szakaszokat kibontva bányászati módszerekkel építik meg.



Leginkább acélcsöveket használnak, de azbesztcement és vasbetoncsövekkel is végeznek ilyen munkát.

7.9 A fúrópajzsok fajtái:

Alagútfúró gépek			
Nyitott TBM-ek	Alagút bővítő gép	Állékony, kemény kőzet	Alagútfúrás kőzetben
	Gripper TBM		
Pajzsos TBM-ek	Nyílt homlokú pajzs	Gyenge kőzet	Állékony talaj
	Mechanikus homlokmegtámasztás	Mállott, nagyon töredezett kőzet	
	Légnyomásos pajzs	Vegyes kőzet	Kemény, állékony talaj, talajvíz
	Zagymegtámasztásos pajzs		Puha szemcsés talaj
	Fölnyomásos EPB pajzs		Puha kohéziós talajok (agyag)
Hibrid TBM-ek	Dupla pajzs	Kemény kőzettől talajig	Alagútfúrás talajban
	EPB-zagy pajzs	Változo kőzetkörnyezet	

7.9.1A fix köpenyes pajzs építési ütemei a következők:

• A pajzs előtt a talajt kifejtik a falazatgyűrű szélességének megfelelő hosszban.
• Ezután a már beépült kész falazatra támaszkodva hidraulikus sajtókkal előrenyomják a pajzsot a kibontott üregbe egy gyűrűszélességnek megfelelő hosszban.
• A következő ütemben visszahúzzák a sajtókat és a pajzsköpeny védelmében beépítik előre gyártott elemekből a falazat következő gyűrűjét, a pajzs hátsó részében.

A pajzsköpeny készülhet öntöttacél vagy hengerelt acéllemezekből készült szegmensekből a helyszínen összecsavarozva, vagy hengerelt lemezből hegesztett zártszelvényű szegmensekből a helyszínen összehegesztve. A pajzs faroklemez belső átmérőjének az építési követelményeken túlmenően annyival kell nagyobbnak lennie a falazat külső átmérőjénél, hogy a pajzs a legkisebb sugarú ívben is fordulni tudjon és a mozgatáskor előforduló irányeltérések mellett is a falazat beépíthető legyen.

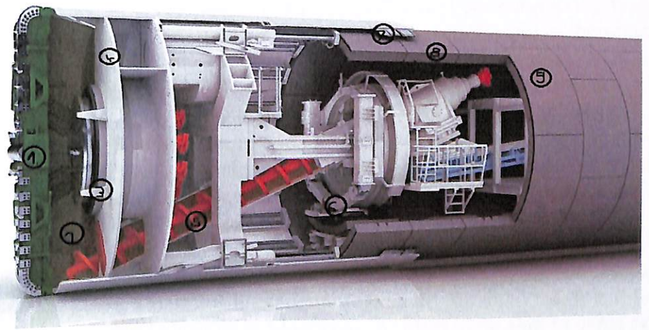
7.9.2 Talajpép homlokmegtámasztású EPB pajzsok

Az EPB pajzs a bentonitzagyos homloktámasztású fúrópajzs puha iszap- és agyagtalajokra továbbfejlesztett változata. Ezeknél, a pajzsoknál a fejtési homlok megtámasztását az ott fellépő talaj- és talajvíznyomásra nem a nyomásszabályozott bentonitzagy biztosítja, hanem a lefejtett puha iszap- és agyagtalajból víz hozzáadásával sűrű péppé homogenizált, sűrű folyadékként viselkedő talajpép. Szükség szerint adagolnak még a homogenizáló térbe plasztifikáló, tapadás gátló vegyszereket is. Az adagolt vegyszereknek környezetbarátoknak kell lenniük, hogy a kitermelt talajpép minden külön kezelés nélkül depóniába elhelyezhető legyen.
A talajminőségnek megfelelően kialakított fejtőtárcsa a lefejtett talajt a mögötte elhelyezkedő, a megépült alagút felőli oldalon nyomásálló acéllemezfallal lezárt homogenizálóba juttatja, ahol a szükséges adalékokkal homogén talajpéppé keveri a berendezés. A nyomást beépített nyomásmérő cellákkal ellenőrzik. Ha a talajpépnyomás a homlok föld és víznyomása alá csökkenne, akkor csökkentik a talajpép kiszállítását a

homloktérből, ha jelentősen túllépné a talajpépnyomás a fejtési homlok föld- és víznyomását, akkor növelik a talajpép kiszállítását, és így csökken annak nyomása. A talajkiszállítás a homogenizáló tér aljáról induló szállítócsigával történik. A csiga hosszát, illetve paramétereit úgy választják meg, hogy a homogenizálóban lévő túlnyomás a szállítócsiga szabad végén 0-ra csökkenjen. Az ott kiömlő talajpép szállítószalagra és szállítógépláncra kerül. Nagyon lényeges a talajpép folyadékszerű viselkedése, mert csak így tudja kiegyensúlyozni a homlokon jelentkező víz- és földnyomást. Ma már ezeket a pajzsokat továbbfejlesztették, és alkalmazásukat szemcsés talajokra és töredezett kőzetekre is kiterjesztették. Ezeknek a talajoknak a plasztifikálását a homogenizáló térbe adagolt habokkal, plasztifikáló vegyszerekkel érik el. Szemcsés talajoknál, töredezett kőzeteknél a bentonitzagyos hidropajzs komoly vetélytársa az EPB pajzsnak, iszap- és agyagtalajoknál azonban az EPB a leggazdaságosabb megoldás.

7.9.3 Földnyomásos EPB pajzs:

A keresztmetszetet részletekben fejtő gépi berendezéseknél egyszerre egy kisebb felületen bontják ki a talajt. A fejtést a pajzsban önállóan mozgó, vagy esetleg rögzítetten beépített fejtőgépek végzik, amelyek a talajviszonyoknak megfelelően marófejjel, vagy markolóval vannak ellátva. Szemcsés vagy vetőkkel átszabdalt kötött talajokban markolóval felszerelt fejtőgépeket használnak. A markolók hidraulikus működésűek. A kanalas fejtést fejtő tüskék segítik elő.
Kőzetekben, kemény kötött talajokban a marófejes berendezéseket használják.

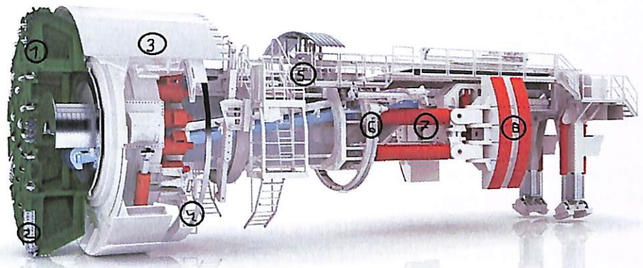


1. Vágóél, 2. fejtési kamra 3. keverő karok, 4. válaszfal, 5. szállítócsiga, 6. erektor, 7. farok rész, 8. feltöltés, 9. alagút bélés

A teljes keresztmetszetben fejtő berendezéseknél a talajviszonyoknak megfelelően különböző megoldások lehetségesek:
- A nyitott fejtőkeresztes szerkezet, amelynél fejtés közben a homlok nincs megtámasztva,
- Rögzített burkolattal ellátott fejtőtárcsa, amely olyan talajban alkalmazható, ahol általában nem igényel állandó megtámasztást a homlok, de időnként előfordul olyan réteg, amelyben szükség van a megtámasztásra,
- Aktívan támasztó fejtőtárcsa, amely állandó homloktámasztást tesz lehetővé,

• Olyan megoldás, ahol fejtési építés teljes ideje alatt tixotróp folyadék, vagy a kibontott talajból előállított talajpép támasztja a homlokot.

7.9.4 A nyitott fejtőkeresztes megoldás:



1. Vágófej 2. talaj összegyűjtő kanalak 3. „gripper" pajzs 4. Gyűrűemelő (erektor) 5. Munkakamra védőtetővel 6. Horgonyfúró Munkakamra védőtetővel 7. Acélháló emelő 8. „gripper" talp

Állékony talajokban, vagy kőzetekben használható. Fejtőgörgőkkel, réselő tüskékkel, fogakkal vagy puhább kőzetekben nyesőkésekkel szerelik fel a berendezést. Ilyen a Calweld pajzs, amelynél egy függőleges síkban forgó kereszt bontja a talajt. A fejtőkeresztnek 8 ága van. Ezeken vídiával erősített fogak vannak elhelyezve. A fejtőkereszt forgatását az ábrán látható pajzsnál 6 db hidraulikus csillagmotorral hajtott berendezés végzi 7 fordulat/min maximális sebességgel. Egy fordulattal körölbelül 5 mm vastag kőzetréteget távolíthatnak el. A fejtőkeresztet kis hidraulikus sajtókkal a pajzs tengelyére merőleges irányokban el is lehet mozgatni, úgyhogy ívben való haladásnál, vagy irányeltérések esetében a fejtés a megfelelő helyes irányban végezhető.

E pajzsoknál mindig úgy kell a fejtőkeresztet kiképezni, hogy előremozgatása külön hidraulikus sajtókkal, a pajzstól függetlenül legyen elvégezhető megfelelő határok között. Így a fejtés a pajzs álló helyzetében végezhető. A fejtés ideje alatt be lehet szerelni a pajzs hátsó részében az újabb falazati gyűrűt.

7.9.5 A rögzített burkolattal ellátott fejtőtárcsás pajzsok:

Hasonlóan a fejtőkeresztes szerkezethez megfelelő tüskékkel, fogakkal vagy nyeső késekkel ellátva fejtik a talajt. A fejtés alatt álló homlok általában nem támaszkodik a tárcsa burkolatára. Ha azonban fellazul a talaj, a tárcsa megakadályozza a homlok beomlását. Ilyen volt a Budapesten használt mechanikus pajzs is.

7.9.6 Az aktív homloktámasztású megoldások:

Omlásra hajlamos talajban a tárcsa burkolata a talajnak feszíthető és így biztosítható a homlok állandó támasztása. Ilyen rendszerű a Bade pajzs. Ennél támasztó és fejtőlapok váltakoznak. Nem állékony talajban a támasztó lapok a homlok felülettel párhuzamosak, a fejtő lapok pedig úgy vannak beállítva, hogy a talaj a nyílásokon át a fejtőtárcsa mögé kerüljön. Állékony talajban a fejtőlapokat a fejtés síkja elé állandó helyzetbe hozzák, és így nincs aktív támasztás. Az ilyen rendszernél támasztás esetén nagy súrlódó erők lépnek fel.

7.9.7 A hidropajzs

A pajzsok egyik különleges típusa a hidropajzs, amely elsősorban laza vizes szemcsés talajokban alkalmazható.
E pajzsoknál a homlok megtámasztása bentonit zaggyal történik. A pajzs-homloknál egy acélfallal lezárt teret bontanak ki és ebben bentonitos zagyot helyeznek el. Ez megakadályozza a pajzs homloknál a talajszemcsék kipergését egyrészt, másrészt folyadék nyomásával egyensúlyt tart a homloknál kialakuló föld és víznyomással.
A megfelelő és szabályozható nyomást sűrített levegővel érik el. A sűrített levegő nyomása biztosítja a zagy kellő nyomás alá helyezését.
A munkatér elülső részét bentonitzagy tölti ki. A zaggyal töltött teret lezáró acéllemezfalon belül egy nyitott acéllemez kötényfal is be van építve. A két lemez közé levegő túlnyomást sajtolnak be. A zagy nyomását a légnyomás szabályozásával tudják egyensúlyban tartani a föld és víznyomással. Egy kis személyzsilip is be van építve, hogy időnként ki lehessen tisztítani a munkateret, és személyek is bemehessenek a légnyomásos térbe.
Az anyagot egy marótárcsa vagy fejtőkereszt fejti és alul a kitermelt bentonittal összekeveredett anyagot zárt csővezetéken át szivattyúkkal szállítják a felszínre. Ott a kitermelt anyagot szétválasztják a zagyban lévő bentonittól. A bentonit zagyot ezután regenerálva újra visszanyomják.
A talajjal kevert zagy tisztítására először vibrorostán vezetik át a keveréket. Ez a durva szemcséket választja le. Ezután hidrociklonnal választják le a finomabb talajrészecskéket egy, vagy kétlépcsős eljárással. Az a 0,025-0,06 mm szemcseátmérőnél nagyobb szemcséket választja le. Az így megtisztított zagy homogenizáló tartályba kerül és itt bentonittal újra megfelelő arányban felfrissítik.
A pajzs zagyterének alsó részén egy rostát helyeznek el, amely a 80 mm-nél nagyobb szemcséket visszatartja. Így védekezni lehet a csőrendszer (amely 300 mm átmérőjű) eldugulása ellen. Időnként a zagytér alsó részét ki kell tisztítani. Ilyenkor a bentonitot fokozatosan kiszorítják, és levegő túlnyomással támasztják meg a homlokot, ez rövid időre általában elérhető a talajban kialakuló bentonit szűrőhártya összetartó hatására. Ennek a szűrőhártyának a kialakulása nagyon fontos. E nélkül nem lehet sem folyadékkal, sem sűrített levegővel való megtámasztást elérni.
Az ilyen rendszerű pajzsoknál rendkívül fontos a pajzs farokrészének a jó tömítése. A nyomás alatt álló bentonitzagy ugyanis betörhet a munkatérbe, a pajzs köpenyét megkerülve. Ahol a szemcsés talajban kőgörgetegek előfordulása várható, a szűrőrács elé kőtörőt építenek be.

7.10 Pajzzsal épített alagút falazatok

A funkcionálisan és szerkezeti, szilárdságtani szempontból megfelelő végleges alagút falazatot a pajzs típusával, a kőzettel, és az építési technológiával összhangban kell megválasztani, úgy, hogy a kőzetkörnyezet mozgásai, és így a felszíni süllyedések minimálisak legyenek.
A fix köpenyes pajzsokkal épített alagút falazatok kör keresztmetszetűek, és beépítés után azonnal teherbíró öntöttvas, előre gyártott vasbeton vagy hegesztett acélszerkezetű falazati elemekből épülnek. Így a pajzs ezekre támaszkodva sajtolja magát előre.
Talajba feszített falazattípusok állékony kőzetben faroklemez nélküli, szabályos hengerkeresztmetszetet fejtő pajzsokkal építhetők előnyösen. Ebben az esetben a talajba feszítés minden előnye teljesül: elmarad az injektálás, a talajba feszítés egy lépésben közvetlenül a pajzsköpeny után azonnal elvégezhető, ami jelentősen csökkenti a fellazulásokat, és ennek következtében a felszínsüllyedések is kisebbek lesznek; helyes feszítés esetén a feszítésből keletkezett nyomóerő következtében nő a falazat nyomatékbíró képessége is. Egyenlőtlenül fejtett hengerfelületen viszont a feszítésből jelentős nyomatékok és elemtörések is keletkezhetnek.
A késes pajzsokkal tetszőleges keresztmetszeti kialakítású, így például patkószelvényű alagutak is épülhetnek és a falazat anyaga lehet monolit vasbeton, sajtoltbeton, vagy lövellt vasbeton szerkezetű, mivel a késes pajzsok előrehaladásakor nem támaszkodnak a megépült falazatra

Az általam választott területen homokkő található, így ebben a kőzetben egy nyílt pajzs lehet a jó megoldás, például a Gripperes pajzs megfelelő.

7.11. Felszín alatti geotechnikai monitoring:

Célja, hogy folyamatos információnk legyen a földtani környezetben lejátszódó természetes és mesterséges folyamatok hatásának mértékéről, szabályosságáról, trendjéről. A felszín alatti kutatás során a tervezett vágathajtás miatt az alapállapothoz képest a felszín alatti környezet bizonyos mértékben módosul, ezen változások kimutatását szolgálja a geotechnikai monitoring is. A monitoring célja adatszolgáltatás a vágatok és kamrák üregképzést követő rövid és hosszú távú stabilitásához, feladata a mérések végrehajtása, az adatok rögzítése és értékelése.

7.11.1 Inklinométer:

A célja a vágat portálok stabilitásának vizsgálata. Fúrt lyukakban inklinométerrel mérjük azok esetleges deformációját és ezáltal mérjük a vágathajtás hatását, a feltalaj stabilitását. Az inklinométer (ferdeség mérő, jelen esetben fúrólyukferdeség mérő) a fúrólyukak függőleges iránytól való eltérését méri. Adott fúráson, adott időközönként elvégzett mérések segítségével meghatározhatók bizonyos laterális irányú elmozdulások. Az eljárás bányászati célú felhasználása a következő: A vágathajtás mentén, a vágattal párhuzamosan 6 – 12 méteres fúrásokat mélyítenek, melyekbe hornyozott, ún. inklinométer csöveket helyeznek. E csövek ferdeségét a telepítést követően meg kell mérni. Ez lesz az ún. nullmérés. Az időszakonként elvégzett mérésekkel nyomon lehet követni, hogy a vágathajtási munkálatok milyen földmozgásokat idéznek elő, ugyanis a lyukferdeség megváltozása kapcsolatban van a laterális elmozdulással.

7.11.2 Extenzométer:

A lyukextenzométerekkel való mérés célja, mérni a felszíni, vagy felszín alatti munkálatok során keletkező kőzetmozgásokat. A lyukextenzométerek egy, vagy több, fúrólyukban elhelyezkedő referencia horgonnyal és egy, a lyukszájnál elhelyezkedő referencia fejjel rendelkeznek. A legtöbb extenzométer húrokkal, vagy rudakkal van ellátva, melyek ki vannak feszítve a horgonyok és a fej között. A kőzet relatív elmozdulását mechanikus, vagy elektronikus műszerekkel mérik, azáltal, hogy rögzítik a horgonyok (ankerek) és a referencia fej közti távolság változását.

7.12 Automatikus deformációs monitoring:

A vágathajtás során az alátámasztását vesztett kőzetek fokozatosan deformálódva jutnak el az új egyensúlyi állapotba. E folyamat nyomon követése alapvető információt ad a tervezés és kivitelezés során figyelembe veendő reális kőzetviszonyok megértéséhez. A vágatköpeny síkjában fellépő axiális és tangenciális (nem radiális) deformációs folyamatokat 10–6 m/m érzékenységű, automatikus üzemű észlelését automatikus üzemű deformációellenőrző háromszöges mérőhelyek biztosítják. A mérőhelyek lehetővé teszik az alkalmazott biztosítási rendszer hatékonyságának minősítését, illetve biztosítják az esetlegesen szükségessé váló beavatkozások időben történő tervezését és kivitelezését is.

7.13 Új alagútépítési eljárások

A modern építési módokat a nagyobb, szabadabb munkatér, a gépesített fejtés, az acéldúcolások, a lőttbeton nagyobb mértékű alkalmazása, és a kőzethorgonyzás, jellemzi.

7.13.1 Az új osztrák építési módszer

Ez az építési eljárás hegyi alagutaknál szilárd kőzetekben alakult ki Ausztriában. Később kiterjesztették az alkalmazási körét iszap és agyagtalajokra, általában kohézióval rendelkező talajokra.
Az eljárás azt a tapasztalatot használja fel, hogy az alagutat körülvevő kőzet tudatosan bevonható a teherviselésbe és így elérhető az, hogy bizonyos kőzetekben vagy talajokban egy vékony lőttbeton réteg, esetleg kőzethorgonyokkal kiegészítve, a kőzettel szorosan együttdolgozva elegendő megtámasztást nyújtson a kibontott üreg részére. Így az építésnél az alagútszelvény szabadon marad, dúcolásoktól mentesen, lehetőséget nyújtva nagyobb munkagépek használatára.

VIII.Térszín alatti különleges építmények

8.1 Leszálló, szállító vagy szellőző aknák:

Az alagútépítésben használt aknák lehetnek függőlegesek vagy ferdék. A gyakoribb, függőleges aknák megépítése a talaj természetétől és mélységétől függően különbözőképpen történhet:

a) Szilárdabb kőzetekben bármilyen mélységre, közepes szilárdságú kőzetben, kohéziós talajban kisebb (10-12 m) mélységre keretes dúcolással és utánhajtott vagy előrehajtott pallózással történhet a kiemelés majd utána alulról felfelé összefüggően a falazás.
b) Olyan kohéziós talajokban vagy nyirkos, de talajvízzel át nem itatott szemcsés talajokban, melyek nyíltvíz tartással vízteleníthetők és kb 5-6 órára köralakban 80-100 cm magasságban, függőeleges oldalfalakkal is lemélyíthetők, az akna előre gyártott falazóelemekkel gyűrűnkénti aláfalazással építhető meg.
c) Vízzel telített szemcsés vagy puha folyós iszap talajokban a talajvíz szintjéig kiemeljük a munkagödröt és az akna alaprajzának megfelelő vágóél koszorúra felépítjük az aknafalat, és azt fokozatos süllyesztés közben magasítjuk.
d) Ha vízvezető talajban nagy mélységre kell az aknát lesüllyesztenünk, akkor a kútsüllyesztést légnyomásos víztelenítéssel kell kombinálnunk.
e) Igen nagy mélységben a vízvezető talajokban előtérbe lép a talajfagyasztás és az egyben való szigetelt falazás
f) szakaszosan, esetenként rész szegmensekben lemélyített akna lövelltbetonos biztosítással, esetleg horgonyok alkalmazásával, stb.

Az akna alaprajza lehetőleg körgyűrű legyen. Ez alaprajzi térkihasználás szempontjából hátrányos, de földfalstabilitás és süllyesztés szempontjából sokkal kedvezőbb, mint a négyszögletes alaprajzú akna.

Az aknafal szerkezetét és anyagát az elkészítési mód szabja meg leginkább.
Az a) és b) esetben szigetelt beton vagy jó minőségű tégla, a c) esetben előregyártott beton, vasbeton, a d) és e) esetben pedig vasbeton szerkezetből készül.

Lejtős, vagy ferde tengelyű aknák inkább a bányászatban fordulnak elő.

8.2 Összekötő folyosók (szellőző csatornák):

Szerkezetük semmiben sem különbözik a többi körszelvényű alagúttól. Mivel aránylag rövidek, ezért klasszikus bányászati módszerrel, vagy szabad homlokfejtéssel, mozgó vasdúcolással, főtefelfüggesztéssel készülnek.

8.3 Földalatti csarnokok (pajzskamrák, gépházak, elektromos kamrák stb):

A csarnokok csak rendeltetésükben, méreteikben, s esetleg a megkívánt biztonság fokában és a terhelések nagyságában különböznek az alagutaktól. Nagyobb szélességűek és a statikailag kedvező patkóalak kialakítása érdekében az már magával hordozza a tekintélyes magasságot is. Ezeket is klasszikus bányászati módszerekkel vagy szabad homlokfejtéses, módszerrel építik. Kőzetnyomás szempontjából a zárt alaprajz előnyt nyújt.

8.4 Földalatti vasúti állomások és üzemi helyiségek

Szintén nagy szélességű és magasságú térségek. Szerkezete és alakja elsősorban a térszín alatti mélységtől, a talajviszonyoktól és az építési módtól, méretei pedig az állomás várható forgalmától függnek. Döntő szempont hogy magas- vagy mélyállomásról van-e szó, illetve méretek és forgalom szempontjából döntő, hogy közép- vagy szélső peronos megoldást választunk-e.

A fenti létesítmények mindegyike lövelltbeton és horgonyok alkalmazásával, bányászati módszerrel megépíthető, illetve napjainkban így építik meg azokat.

IX.Az alagútépítés különleges balesetvédelmi és egészségügyi szempontjai

9.1 Balesetvédelemi szempontok:

1. Az összes gépet és szerszámot jó állapotban kell tartani.
2. Fölös szerszámot, építőanyagot vagy gépet nem szabad az alagútban tárolni.
3. A járóutakat, munkapadokat jó állapotban és tisztán kell tartani.
4. Jól kell a munkahelyet megvilágítani, és a vezetékeket szigetelni.
5. Jó és sűrű telefonösszeköttetést kell az egyes földalatti munkahelyek, felvonó állomások, gépházak és az építésvezetőség között biztosítani.
6. A fejtés közben figyelni, hogy ne hagyjunk kiálló csöveket sehol.
7. Emelő berendezéseknél figyelni, hogy ne terheljük őket túl, illetve mindent jól rögzítsünk rajta.
8. A falakat és főtét rendszeresen vizsgáljuk át az ácsolatokkal együtt.
9. A jó védőruházat elengedhetetlen kellék.
10. Haboltó készülékek és tűzoltó szolgálat is nagyon fontos.

9.2 Egészségvédelmi szempontok:

1. Fontos, hogy a szellőzésre fokozottan figyeljünk, mert ebből adódhat a legnagyobb probléma.
2. Meghűlésektől védő megfelelő munkaruházat.
3. Keszonbetegség elleni védekezés.

X. Az alagutak szellőzése,világítása

10.1 Alagutak szellőzése:

Megkülönböztetünk, *munkahelyi* és *végleges szellőzést* és ez utóbbi szintén két részre bontható. A *természetes* és a *mesterséges szellőzésre*.

Munkahelyi szellőzés: A föl alatti zárt munkatérben a természetes levegőcsere csak ritkán van meg, mert a kőzetek és talajrétegek légáteresztő képessége csekély, és a természetes úton, hőmérsékletkülönbség okozta áramlás folytán bekerülő friss levegő mint utánpótlás csekély. A dolgozók természetes levegőfogyasztása mellett a robbantásoktól, füst- és egyéb gázokból származó fertőzéssel is számolnunk kell amellett, hogy a levegő sokszor kellemetlen felmelegedését is légcserével kell kiegyensúlyoznunk.
Hogy a munkahelyi szellőztetés légszükségletét megállapítsuk ismernünk kell a következő tényezőket:

1. műszakonként a munkahelyen dolgozók számát
2. szállítóberendezés üzeme
3. a felhasznált robbanóanyag (ha van) mennyiségét és minőségét
4. az üzemmenetet
5. geológiai viszonyokat és a fejtett kőzetek gáztartalmát

1. Átlagosan az mondható, hogy ötször annyi friss levegőről kell gondoskodni, mint amennyit a dolgozók kilélegeznek. Egy ember átlagosan $2m^3$ levegőt lélegzik be percenként.

2. Szállítóberendezésnél Dieseles vontatás esetén 1,2 m^3/perc levegőt kell felszámolni. Elektromos berendezés esetén viszont természetesen vesszük figyelembe.

3.A levegőigényt döntően befolyásolja a robbantás és a fejtéshomloknál fejlődő gázok eltávolítása és felhígítása.

4.és 5. Az üzemmenettől és a geológiai viszonyoktól függő levegőszükséglet mindenkor a tényleges helyzetnek megfelelően állapítandó meg, vagyis a szállítás intenzitásától, a robbantások sűrűségétől, a kőzetből beszivárgó gázok mennyiségétől és minőségétől függően.

A szellőztetés eredményes végrehajtásához a friss levegőt bizonyos nyomással kell a szellőztetendő munkatérbe juttatni.

A munkahelyi szellőzés háromféle módszerrel történhet: fúvással, szívással, kombinált módszerrel.

Fúvó berendezésnél: A friss levegőt közvetlenül a munkahelyre tápláljuk be, és az elhasznált levegőt az alagút egész keresztmetszetében és hosszában visszanyomja. Aránylag gyorsan kihajtja a szennyezett levegőt és a friss levegő hűtő hatása is érvényesül, így a dolgozók munkaképessége emelkedik.
Hátránya, hogy a füstgázos fertőzött levegő az alagút vagy tároló teljes szelvényében áramlik vissza, ahol a nagyobb szelvény miatt kicsi a légáram sebessége. A fejtést követő megtámasztási és falazási munkákat tehát meleg levegőben kell végezni.

Szívó szellőztetésnél: az irány fordított. A fejtési munkahelyről csővezetéken szívjuk ki a fertőzött levegőt, és annak helyére az alagúton keresztül nyomul be a friss levegő.
Természetes szellőzés: Ennek kihasználása rendkívül fontos, és már az alagút elhelyezésénél gondolnunk kell erre. Lehetőleg az uralkodó szélirányba helyezzük el. Az alagút tengelyét ne vezessük erős görbületben vagy ellenesésben. Meteorológiai szempontokat is ajánlatos figyelembe venni és az alagutat célszerű erősen széljárta helyen létesíteni.
A természetes szellőzés megkönnyíti a fenntartás munkáját, mert szárító hatásával ellensúlyozza a páralecsapódást, átnedvesedést.
A természetes szellőzés alapját részben az alagút irányába eső külszíni légmozgások és szelek, részben pedig a külső és belső levegő hőmérséklet- és fajsúlykülönbségére visszavezethető nyomáskülönbség képezi.

Mesterséges szellőzés: Elsősorban a több kilométer hosszú közúti alagutaknál, továbbá metró alagutaknál válik szükségessé. Itt is a levegő megengedett szennyezettsége, illetőleg a fejlődött melegmennyiség eltávolítása alapján kell meghatározni. Figyelembe kell venni továbbá az alagút forgalmát és a benntartózkodás idejét.

Végleges szellőzés módszerei:

- hosszirányú szellőzés,
- keresztirányú szellőzés,
- félig keresztirányú, kombinált szellőzés

Hosszirányú szellőzés: esetén maga az alagút közlekedési tere képezi a légcsatornát portáltól portálig illetve szellőző aknáig. A szellőző levegő iránya megegyezik az alagút hossztengelyével.
Előnye, hogy beruházási költségei alacsonyak, mivel külön szellőzőcsatorna építési költségei nem terhelik a beruházást. A szükséges légmennyiséget legegyszerűbb módon az alagút hosszától függően egy vagy több szellőző aknával biztosíthatjuk.
Hátránya, hogy a forgalom által előidézett légnyomás vagy akár a természetes szellőzés is esetleg kétértelmű lehet, és ez a szellőzés hatásfokát is lényegesen rontja, energiaszükségletét emeli, de ugyanakkor károsan növeli a járművek légellenállását és energiaszükségletét.

Keresztirányú szellőzés: lényege, hogy a légcsere keresztirányban történik. A szelvény alján friss levegőt fújnak be, az elhasználtat pedig a szelvény tetejénél elszívják. A keresztirányú szellőzés kétségkívül drágább, mint a hosszirányú, de nagy teljesítményű szellőzést hosszú alagutaknál a forgalom zavarása nélkül legjobban ezzel az elrendezéssel lehet biztosítani.
A fertőzött levegő a legrövidebb úton hagyja el az alagutat.

10.2 Az alagutak világítása:

Az alagutak megvilágításával kapcsolatos igények erősen különböznek aszerint, hogy fenntartási vagy közlekedésbiztonsági célból van a világításra szükség. Az igényeket fokozatonként csoportosítva; pl vasúti alagutaknál irányfényekre, hajózási alagutaknál már tájékozódást lehetővé tevő megvilágításra, közúti alagutaknál, raktárakban már rendszeres munkát lehetővé tevő világításra van szükség. A legnagyobb megvilágítási igény ez utóbbi esetben 1000-1500 lux, míg közúti alagutak esetén, csak 500-150 lux. Mindkét esetben kedvezőbb az indirekt megvilágítás, mert a közvetlen fény zavarja a vezetőket.

Hasonlóképpen ügyelni kell a be és kijáratnál mutatkozó nagy megvilágítási különbségek fokozatos kiegyenlítésére. A nappali külső világítás intenzitása kb. 100.000 lux, amit mesterségesen nem is nagyon lehet előállítani. Biztonsági tartalék világításról minden esetben gondoskodni kell!

XI. Alagutak véges elemes vizsgálata

A véges elemek módszer

- A geotechnikában elsősorban vonalas műtárgyak keresztmetszeteinek számítására használjuk
- A végtelen féltér helyett egy zárt tartományt vizsgálunk
- Természetes lehatárolás: merev réteg
- Peremzavar minimalizálás: kellő távolságban lezárni, eredményt ellenőrizni
- Peremfeltételek:
- Erő jellegű (terhelés)
- Elmozdulás jellegű (kényszer)
  - Dobozmodell

A kétdimenziós véges elemes programok közül a sík deformációs állapot modellezésére szolgálók a használhatók. Manapság már csak a speciális, e célra készített szoftverek alkalmazása célszerű. A talajok képlékeny modellezése eltér az egyéb szerkezeti anyagoktól,
és már igen kis terheléseknél bekövetkeznek képlékeny deformációk (ott marad a lábnyomunk)

11.1 A geotechnikai modell

-*Geometria*
A vizsgált tartományt úgy kell lehatárolni, hogy a peremzavarok ne hamisítsák meg az eredményt. Az olyan rétegek, amelyek jelentősen merevebbek, általában megfelelő határok.
Ha nincs ilyen, előzetesen meg kell vizsgálni, hogy milyen eredményeket várunk, és ehhez milyen tartományok vizsgálata szükséges. A lehatárolás néhány szempontja:
• Határmélység süllyedésszámításnál;
• A potenciális törési mechanizmus várható kiterjedése stabilitásvizsgálatnál;
• A terhelés-tehermentesítés várható hatástartománya;
• A természetes rézsűn túl általában nem terjednek a hatások.
Az eredményeket ellenőrizni kell:
• A törési mechanizmus nem éri-e el a peremet;
• Nem túl nagyok-e az elmozdulások a peremnél;
• Nem túl nagy-e a feszültségek eltérése a peremen a várhatótól;
A peremeken erő- és elmozdulásjellegű feltételeket írhatunk elő. Az erőjellegű a terhelés, az
elmozdulásjellegű általában a dobozmodell:
• Az oldalsó határokon csak függőleges mozgások jöhetnek létre. Itt nyírófeszültségek nem keletkeznek. Ez lehet szimmetriatengely is.
• Az alsó határon nem jön létre elmozdulás.
• Hajlított rúdelem ezeknél, a peremeknél elfordulni sem tud.

A szabad peremeken a merőleges normál- és a nyírófeszültség nulla, a peremmel párhuzamos
egyirányú húzás-nyomás lehet.

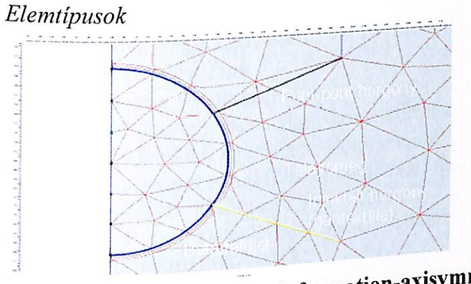
Túlságosan nagy tartományt vizsgálni sem jó. Egyrészt az „értékes" terület aránya lecsökken,
és ezzel romlik a pontosság, másrészt például a felszínmozgások irreálisan nagyok lehetnek.

11.2 Plaxis

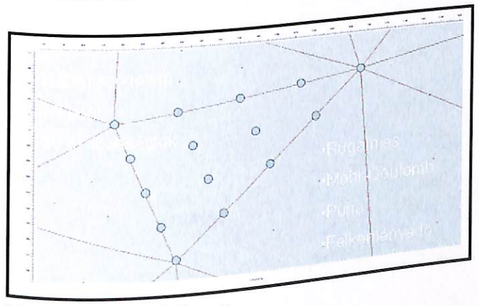
11.2.1 A lehatárolás méretei alagútnál

Alagútnál a felszínsüllyedés szempontjából a természetes rézsű szabja meg a modell vízszintes kiterjedését. Az alagút alatt a zavaró hatások a feszültségekben a távolság négyzetével arányosak, a végtelen térben levő, kör alakú üreg peremére ható terhelés analógiája alapján. 5R távolságban a sugárirányú feszültségekben a zavarás 1/25=4 %.

Elemtípusok



11.1 ábra: A Plaxis (plane deformation-axisymmetric) program által modellezhető szerkezeti elemek



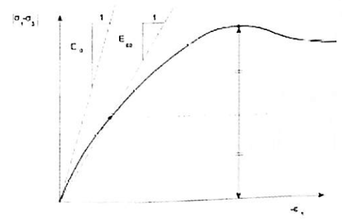
11.2 ábra: Talajtömeg

A talajtömeg modellezése finomított háromszögelemek alkalmazásával történik. A finomított elem nem csak a sarokpontjain, hanem az oldalain, és a belsejében is tartalmazhat csomópontokat.
A 15 pont-30 elmozdulási szabadságfok teljes negyedrendű elmozdulásmezőt ír le. A háromszögelemek rugalmasabban használhatók a geotechnikai modellezésben, mint a négyszögelemek.
A háromszögek ne legyenek túlságosan laposak, az alap/magasság arány ne legyen ¼-nél kisebb.

11.2.2 Anyagmodellek

Talaj

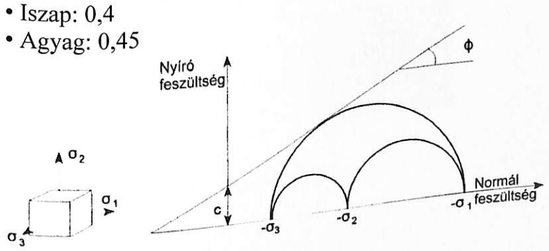
A mai véges elemes programokban általában négyféle alapvető fizikai modellt használnak.



11.3 ábra: Rugalmas modell

• Es (lehet mélységgel növekvő), ν
• Alacsony terhelési szint
• Kemény agyag, tömör szemcsés

A rugalmas modell használati köre korlátozott, csak kis terhelési szinteknél, nagy teherbírású talajoknál lehetséges. Betonelemek modellezésére is használható.
Paraméterei: rugalmassági (összenyomódási) modulus, Poisson-tényező.
A rugalmassági modulust (E) triaxiális kísérletből vagy egyirányú nyomásból határozhatjuk meg (kötött talajoknál). Általában az 50 %-os terhelési szinthez tartozó húrmodulust használjuk.
Az összenyomódási modulus (Es) kompressziós kísérletből nyerhető, a mélységnek megfelelő terhelésnél. Homogén talajrétegben a merevség a mélységgel (az előterheléssel) nő, ha van rá adatunk, ezt számításba vehetjük.
A Poisson tényező:
• Kavics: 0,25
• Homok: 0,3
• Homokliszt: 0,35
• Iszap: 0,4
• Agyag: 0,45

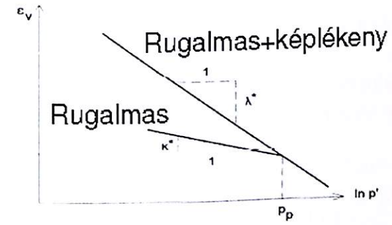


11.4 ábra: Mohr-Coulomb modell

• Es, ν, φ, c
• Állékonyságvizsgálathoz

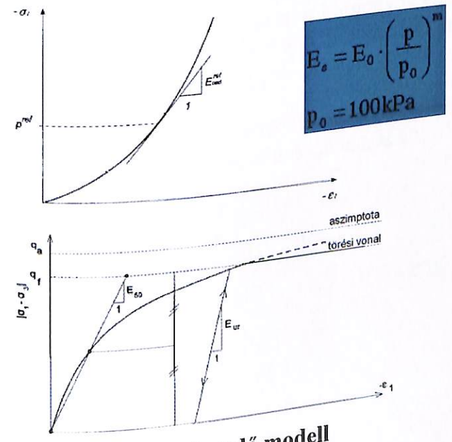
A Mohr-Coulomb modell rugalmas-ideálisan képlékeny. A törési feltétel: a Mohr kör érinti a
Coulomb egyenest.
A nyírószilárdsági paraméterek: belső súrlódási szög, kohézió.

Húzást általában nem engedünk meg.



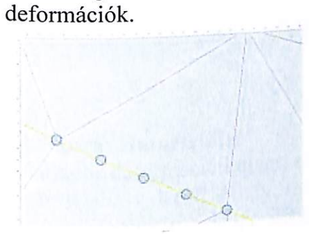
11.5ábra: Puha talajmodell

• λ*, κ* (lg-ln, e-ε), φ, c
• Puha-sodorható kötött
A puha (Cam-Clay) modell puha-sodorható állapotú kötött talajokhoz alkalmazható. Az alapja
az, hogy a kompressziós vizsgálat féllogaritmikus léptékben közel lineáris. A kompressziós
tényező (λ, szűz terhelésnél) és a duzzadási tényező (κ, tehermentesítésnél-újraterhelésnél) az
alakváltozási jellemzői. A nyírási teherbírás a Mohr-Coulomb modell szerinti.
Az alakváltozási tényezőkre ügyelni kell, mert a kompressziós kísérlet feldolgozása
lehetséges hézagtényező, vagy fajlagos deformáció, illetve természetes, vagy tízes logaritmus
szerint is.
Tehermentesítés-újraterhelésnél a talaj (nem lineáris) rugalmasan viselkedik. Szűz terhelésnél
(ha túllépjük az addig legnagyobb terhelési szintet), a rugalmas és a képlékeny alakváltozások keverten lépnek fel. Amit tehermentesítéssel visszanyerhetünk, az a rugalmas, amit nem, az a
képlékeny.
A duzzadási tényező ~1/3-1/5-ötöde a kompressziós tényezőnek.



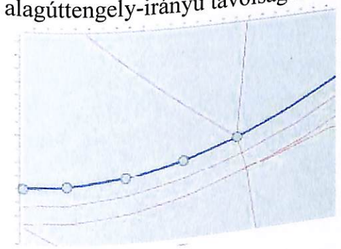
11.6 ábra: Felkeményedő modell

• E0, m, Eur, φ, c
• Tömör szemcsés, kemény kötött
A felkeményedő talajmodell kemény kötött és tömör szemcsés talajoknál használható.
Főbb jellemzői:
• A nyírószilárdság a Mohr-Coulomb modell szerinti;
• Az összenyomódási és a rugalmassági modulus független paraméter, nincs Poisson tényező.
• Az összenyomódási modulus az átlagos főfeszültségtől (p) hatványfüggvény szerint függ. A kitevő 0 és 1 között lehet. Agyagokra 0,5, tömör kavicsra 1 a jellemző érték.
• A triaxiális görbét hiperbolával közelíti;
• Az aszimptota ~90 %-ától ideálisan képlékeny az anyag;
• Tehermentesítésre-újraterhelésre 3-5-ször merevebben viselkedik;
• Elsődleges terhelésnél itt is keverten jönnek létre a rugalmas és a képlékeny deformációk.



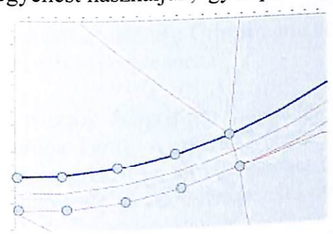
11.7 ábra: Horgony

• Pont-pont horgony (dúc)
• Húzó-nyomó merevség (EA, kN/m)
• Injektált horgony (geotextília)
• Húzómerevség (EA, kN/m)
A horgonyok modellezéséhez kétféle elemet használunk:
• Pont-pont horgony, amely csak a két végén csatlakozik a véges elemes hálózathoz, végponton történő rögzítéshez és injektálatlan horgonyszakasz modellezéséhez, valamint dúcokhoz;
• Geotextília, injektált, ragasztott horgonyok és szegek modellezéséhez.
Ez utóbbi szintén finomított elem, 5 ponttal, minden ponton a talajhoz kapcsolva. Csak húzást
vesz fel.
Merevségük egy méter vastag (a rajz síkjára merőlegesen) talajtömegre értendő, tehát az alagúttengely-irányú távolságukkal osztandó.



11.8 ábra: Fal

• Hajlító, normál merevség (EI, kNm2/m, EA, kN/m)
• Rugalmas, rugalmas-képlékeny (MH, NH, M/MH+N/NH≤1)
Hajlító (lemez) és normál merevséggel rendelkeznek. Finomított elemek, vagy ha íves falazatot modellezünk, un. Izoparametrikus elemek. Ekkor a program az elem közbenső pontjának koordinátáit is nem lineáris interpolációval számítja ki.
Rugalmas-képlékeny viselkedés esetén az egyszerűsített teherbírási „görbét", azaz egyenest használjuk, így képlékeny csuklók is számításba vehetők.



.

11.9 ábra: Határfelület
• Fajlagos deformáció helyett elmozduláskülönbség
• Kn=R□E□v, Kt=R□G□v, tg=δR□tgφ, a=R□c
Nagyon fontos a talajok véges elemes vizsgálatában, mert lehetővé teszi a felületen történő elcsúszást. Nagy merevségkülönbség (a két oldalán), vékony réteg, vagy csúszófelület esetén használjuk.
A vastagsága kicsi a hosszához képest. Alakja téglalap, két oldalán megduplázott pontokkal.
Lehet izoparametrikus, ha íves falhoz illeszkedik.
A merevsége a talajkörnyezet nyomó- és nyírási modulusából számítódik, a vastagsággal és egy csökkentő tényezővel szorozva.
Húzást nem vesz fel, nyírási határát a Coulomb-törvény adja. A csökkentő tényező a technológiától függ. Lőtt betonnál lehet 1, bentonitzagy alkalmazása esetén 0,1.

Az adatok bevitele után a számítás lefuttatása és kiértékelése következik.

XII. Költségvetés számítása

A 4-es metró építése idején lévő árakat vettem alapul.
Pajzsos alagútépítésnél az átlagos haladási sebesség 10-15m/nap. Én 13 m/napos értékkel számolok. Az eltérő talajviszonyok miatt a legjobb megoldás az lenne, ha kétféle pajzsot gyártanának le és a 3190m-es nagyrészt homokkővel és egyéb keményebb kőzetekkel teli szakaszon menne a Gripper, ami egy nyitott pajzs. A 2020 m-es agyagos szakaszon, pedig az EPB pajzs menne.

A pajzsok átlagos ára 1.000.000 Euró/átmérő(m), így a két pajzs összesen 26.000.000 Euróba kerül. A gyártási idejük nagyjából 12 hónap és ha beleszámítjuk a helyszíni összeszerelést is, ami 3 hónapot tesz ki, akkor összesen 15 hónapot kell várni a munka megkezdéséig. Az összeszerelés után meglehet kezdeni a fúrást.

A két pajzs egyszerre indulna meg hiszen teljesen eltérő helyen vannak és nem függnek egymástól.

12.1 A Gripperes pajzs teljes költségvetése:

Gripper haladási ideje: 3190/13 = 245 nap . Ez után a pajzsot megfordítják, hogy a másik irányban is elkészüljön a járat. Ez körülbelül 60 napot vesz igénybe. Majd a pajzs visszafelé is megteszi a távot.

Így összesen 245 *2 + 60 = 550 napig folyik a tényleges munka.

Szükséges anyagok, kézi és gépi munka igények:

Lőtt beton és kiegészítői Euró	= 1500 Euro/m →1500*6380	= 9.570.000
Belső héj (szigetelés, acél, beton) Euró	= 1200 Euro/m →1200*6380	= 7.656.000
Gépek+produktív személyzet Euró	= 70.000 Euro/nap→ 70.000*550	= 38.500.000
Kiszolgáló személyzet Euró	= 5000 Euro/nap →5000*550	= 2.750.000
Unproduktív személyzet Euró	= 3000 Euro/nap →3000*550	= 1.650.000
Így a Gripperes pajzs költségvetése összesen Euro		= 60.126.000

A teljes elkészülési idő pedig = 450 nap (pajzs legyártás és összeszerelés) + 550 nap (munka) + 90 nap (utómunka) = 1090 nap = 36,3 hónap.

12.2 Az EPB pajzs teljes költségvetése:

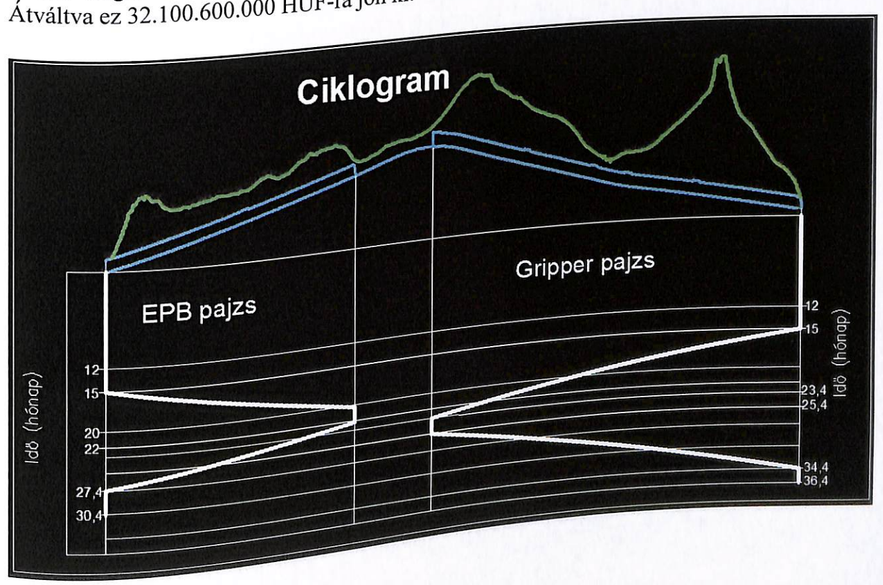
Az EPB pajzs haladási ideje 2020/13 = 156 nap. A 60 napos megfordítás után visszafelé is megteszi a távot.

Így összesen 156 *2 + 60 = 372 napig folyik a tényleges munka.

Tübbingek	= 3000 Euro/m →3000*4040	= 12.120.000 Euró
habarcs	= 500 Euro/m →500*4040	= 2.020.000 Euró
Gépek+produktív személyzet	= 80.000 Euro/nap→ 80.000*372	= 29.760.000 Euró
Kiszolgáló személyzet	= 5000 Euro/nap →5000*372	= 1.860.000 Euró
Unproduktív személyzet	= 3000 Euro/nap →3000*372	= 1.116.000 Euró
Így az EPB pajzs költségvetése összesen		= 46.876.000 Euro

A teljes elkészülési idő pedig = 450 nap (pajzs legyártás és összeszerelés)+ 372 nap (munka) + 90 nap (utómunka) = 912 nap = 30,4 hónap.

A két alagút tehát összesen 60.126.000 + 46.876.000 = 107.002.000 Euróba kerül. Átváltva ez 32.100.600.000 HUF-ra jön ki.



XIII. Felhasznált irodalmak:

Könyvek:

Dr. Széchy Károly: Földalatti Műtárgyak

Dr. Széchy Károly: Alagútépítéstan

Gálos Miklós – Vásárhelyi Balázs: Kőzettestek osztályozása az építőmérnöki gyakorlatban

V.M. Mosztkov: Nagyszelvényű földalatti létesítmények

Petrasovits Géza - Fazekas György - Kovácsházy Frigyes: Városi földalatti műtárgyak

Internetes tartalmak:

https://hu.wikipedia.org/wiki/M0-s_aut%C3%B3%C3%BAt_(Magyarorsz%C3%A1g)

http://nol.hu/gazdasag/20131121-m0_jon_a_legdragabb_szakasz-1427651

http://www.szt.bme.hu/phocadownload/szakmernoki/3_felev_2013_tavasz/EpKar/Epuletkarok%20elemzse%207%20%2013.03.01.pdf

https://hu.wikipedia.org/wiki/Felsz%C3%ADn_alatti_monitoring_rendszer_%C3%BCzemeltet%C3%A9se

XIV. Műszaki leírás

Megbízás:

A Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar mélyépítési szak bízott meg a diplomamunka elvégzésével 2015 őszi félévében.
Ennek keretein belül kezdtem meg a számomra megfelelő belső konzulens keresését, bízva abban, hogy a fent említett témában tudom megírni a szakdolgozatomat. Így esett a választásom Telekes Gábor tanár Úrra, aki szerencsére azonnal tudta, hogy kit kell felhívni, hogy mielőbb sikerrel járjunk. Így találtunk rá az UNITEF'83 Zrt-re, akik épp most dolgoznak az M0-ás legújabb szakaszának előkészítésén és készek voltak segíteni.

Azt az információt kaptam, hogy az alagutak NATM technológiával készülnek, mert ezt találták a legegyszerűbb és leggazdaságosabb megoldásnak. Ennek ellenére én bátorkodtam valamilyen fúrópajzsos módszerrel elvégezni a feladatot, mert diáktársam már neki látott a szakasz elkészítésének az osztrák módszerrel. A feladatom tehát a 3,2 kilométeres alagút 100 méteres szakaszának elkészítése körülbelül 110 méter mélységben a homokköves részben. Az alagút további része ennek mintájára készülne el.

Alapadatok:

Helyszín: M0-ás befejező Észak-Nyugati szakasza, mely a Megyeri hídtól az M1-es autópályáig épül. A terület védelem alatt áll, ezért döntöttek az alagutak létrehozásának. Fontos még továbbá, hogy már régóta váratott magára az M0-ás körgyűrű befejezése, és így most legalább ez megvalósul.

Technológia: Gripperes pajzsos módszerrel készül az általam tervezett 100 méteres alagút szakasz. Ez egy nyitott fejtésű pajzs, így lőttbeton felhordását is lehetővé teszi. A homokkőben való haladás nyitott pajzzsal, egyáltalán nem bonyolult, hiszen az átboltozódás kialakul. A homokkő pedig eléggé állékony talaj, így nem kell kapkodni a lőttbeton fellövésével sem. A számítások alapján 20 cm-es lőttbeton beépítés szükséges. A végleges szerkezet egy 40 cm-es vasbeton falazat lesz a körszelvényű alagútban.

Munkavédelem:
- Az új vasbeton alagútfalazat, mint vasbeton építmény a "nem tűzveszélyes" E osztályba sorolható az 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet szerint.
- A tervezés során a vonatkozó tűzvédelmi előírások, illetve az 54/2014. (XII. 5.) BM sz. rendelet, az Országos Tűzvédelmi Szabályzat előírásai betartásra kerültek.

A tervezés

- a közúti közlekedés szabályairól (KRESZ) szóló 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet,

- továbbá az utak építésének, forgalomba helyezésének és megszüntetésének engedélyezéséről szóló 93/2012. (V. 10.) Korm rendelet,
- az utak forgalomszabályozásáról és a közúti jelzések elhelyezéséről szóló 20/1984. (XII. 21.) KM rendelet figyelembe vételével készült, ezek betartásáról a kivitelező köteles gondoskodni.

Az alkalmazott műszaki megoldások kielégítik a vonatkozó ágazati szabványok és műszaki előírások követelményeit.

A tárgyi tervdokumentáció műszaki megoldásai megfelelnek az általános érvényű kötelező és az eseti hatósági előírásoknak. A terv a kivitelezési előírásokra való tekintettel, az érvényben lévő óvórendszabályok, munkavédelmi-, és tűzvédelmi előírások és szabványok figyelembevételével készült.

Az építés során az érvényben lévő munkavédelmi és balesetelhárítási óvórendszabályokat a legszigorúbban be kell tartani.

Tűzvédelem

A tűzvédelem szempontjából a 28/2011. (IX.6.) BM rendeletben közzétett Országos Tűzvédelmi Szabályzat előírásai mértékadóak, melynek rendelkezéseit a legszigorúbban be kell tartani.

A Kivitelező köteles tevékenységi területén a közvetlen tűzvédelmet szolgáló – jogszabályban, szabványban, hatósági határozatban előírt – tűzvédelmi berendezéseket, készülékeket, felszereléseket, technikai eszközöket állandóan üzemképes állapotban tartani, időszaki ellenőrzésükről, valamint az oltóvíz és egyéb oltóanyagok biztosításáról gondoskodni.

A tűzvédelmi szabály megszegéséért, ha az közvetlen tűz- vagy robbanásveszélyt, illetőleg tüzet idézett elő, vagy veszélyezteti a személyek biztonságát, akadályozza a mentésüket; a tűzjelzéshez és a tűzoltáshoz szükséges eszköz, felszerelés, készülék, berendezés, oltóanyag beszerzésének, készenlétben tartásának, karbantartásának vagy ellenőrzésének elmulasztásáért, illetőleg rendeltetéstől eltérő – engedély nélküli – használatáért esetlegesen kiszabott tűzvédelmi bírság a Kivitelezőt terheli.

Ha a Kivitelező tüzet vagy annak közvetlen veszélyét észleli, köteles azt haladéktalanul jelezni a tűzoltóságnak, vagy ha erre nincs lehetősége, a rendőrségnek vagy a mentőszolgálatnak, illetőleg a települési önkormányzat polgármesteri hivatalának. A Kivitelező köteles a tűzoltási lehetőséget a kivitelezés során befolyásoló változtatásokat (út, közművezetékek elzárása, forgalom elterelése stb.) az állandó készenléti szolgálatot ellátó hivatásos önkormányzati tűzoltóságnak szóban azonnal és írásban is bejelenteni.

A Kivitelező köteles a létesítmények, az építmények, a technológiai rendszerek kiviteli tervezésével és megvalósításával összhangban gondoskodni a jogszabályokban [különös tekintettel az Országos Tűzvédelmi
Szabályzatban foglaltakra] és a szabványokban meghatározott tűzvédelmi követelmények megtartásáról, valamint a tevékenységi körükkel kapcsolatos veszélyhelyzetek megelőzésének és elhárításának feltételeiről.

A fentiekben nem említetteken túlmenően a Kivitelező köteles minden vonatkozó – tűzvédelemmel összefüggő – jogszabályban meghatározott követelményt betartani, különösen az alábbiakban foglaltakat:

· 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról, · 30/1996. (XII. 6.) BM rendelet a tűzvédelmi szabályzat készítéséről.

Ha a Kivitelező katasztrófát vagy annak veszélyét észleli, vagy arról tudomást szerez, haladéktalanul köteles bejelenteni azt a katasztrófavédelem hivatalos szerveinek, illetve az önkormányzati tűzoltóságnak és a polgármesteri hivatalnak.

Ebből a szempontból katasztrófa alatt azt a szükséghelyzet vagy a veszélyhelyzet kihirdetésére alkalmas, illetőleg a minősített helyzetek kihirdetését el nem érő mértékű olyan állapotot vagy helyzetet (pl. természeti, biológiai eredetű, tűz okozta) kell érteni, amely emberek életét, egészségét, anyagi értékeiket, a lakosság alapvető ellátását, a természeti környezetet, a természeti értékeket olyan módon vagy mértékben veszélyezteti, károsítja, hogy a kár megelőzése, elhárítása vagy a következmények felszámolása meghaladja az erre rendelt szervezetek előírt együttműködési rendben történő védekezési lehetőségeit és különleges intézkedések bevezetését, valamint az önkormányzatok és az állami szervek folyamatos és szigorúan összehangolt együttműködését, illetve nemzetközi segítség igénybevételét igényli.
Ha a Kivitelező az építés során elhagyott robbanótestet vagy annak tűnő tárgyat talál, illetve ilyen tárgy hollétéről tudomást szerez, akkor köteles az építési munkát haladéktalanul felfüggeszteni és bejelentést tenni a helyi rendőri szervnek **a tűzszerészeti mentesítési feladatok ellátásáról szóló 142/1999. (IX. 8.) Korm. rendelet** előírásainak megfelelően és köteles az elrendelt intézkedést megtenni illetve annak végrehajtásában közreműködni.
Az építés során a területre szállított, raktározott, felhasználásra kerülő tűzveszélyes anyagokkal az előírásoknak megfelelő óvóintézkedések szerint kell bánni. A szükséges tűzoltó berendezések, és eszközök készenlétéről gondoskodni kell, s megfelelő tűzjelzést is biztosítani kell.

Villámvédelem
Az objektum villámvédelmének tervezését az 54/2014. (XII. 5.) BM számú, az Országos Tűzvédelmi Szabályzat kiadásáról szóló rendelet valamint az MSZ EN 62305-1-4. szabványsorozat betartásával kell elvégezni.
A kockázatelemzést, a besorolást és a gyakorlati kialakítást a kiviteli terv fogja tartalmazni!

Kapros Balázs

XV. Számítási melléklet

15.1 A belső súrlódási szög és a kohézió meghatározása

Talaj adatok:
GSI = 50 H = 120 m γ = 21,6 kN/m^3 σ_{ci} = 17,9 MPa m_i = 17

$\underline{m_b} = m_i * e^{\frac{GSI-100}{28-14*D}} = 17 * e^{\frac{50-100}{28-14*0}} = \underline{2,8505}$

$\underline{s} = e^{\frac{GSI-100}{9-3*D}} = e^{\frac{50-100}{9-3*0}} = \underline{0,00387}$

$\underline{a} = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} * (e^{\frac{GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}}) = \underline{0,506}$

$\sigma_{\underline{c}} = \sigma_{ci} * s^a = 17,9 * 0,00387^{0,506} = \underline{1,081 \text{ MN/m}^2 = 1081\text{kN/m}^2}$

$\sigma_{\underline{t}} = \frac{s*\sigma ci}{mb} = \frac{0.00387*17,9}{2,8505} = \underline{-24,30\text{kN/m}^2}$

$\sigma_{\underline{cm}}' = \sigma_{ci} * \frac{(mb+4*s-a*(mb-8*s))*(mb/4+s)^{a-1}}{2*(1+a)*(2+a)} =$

$17900 * \frac{(2.8505+4*0,00387-0,506*(2,8505-8*0,00387))*(2.8505/4+0,00387)^{0,506-1}}{2*(1+0,506)*(2+0,506)} = \underline{4024\text{kN/m}^2}$

$\sigma_{\underline{3max}} = 0,47 * (\frac{\sigma cm'}{\sigma o})^{-0,94} * \square_{cm}' = 0,47 * (\frac{4024}{0,0216})^{-0,94} * 4024 = \underline{1250,8\text{kN/m}^2}$

$\sigma_{\underline{3n}}' = \frac{\sigma 3max}{\sigma ci} = \frac{1250,8}{17900} = \underline{69,9\text{kN/m}^2}$

$\underline{c} =$

$$\frac{\sigma ci*\{(1+2a)*s+(1-a)*mb*\sigma 3n'\}*(s+mb*\sigma 3n')^{a-1}}{(1+a)*(2+a)*\sqrt{1+(6*a*mb*(s+mb*\sigma 3n')^{a-1}/(1+a)*(2+a)}} =$$

$$\frac{17900*\{(1+2*0,506)*0,00387+(1-0,506)*2,8505*69,9\}*(0,00387+2,8505*69,9)^{0,506-1}}{(1+0,506)*(2+0,506)*\sqrt{1+(6*0,506*2,8505*(0,00387+2,8505*69,9)^{a-1}/(1+0,506)*(2+0,506)}} = \underline{450\text{kN/m}^2}$$

$\varphi = \sin^{-1}\frac{6*a*mb*(s+mb*\sigma 3n')^{a-1}}{2*(1+a)*(2+a)+6*a*mb*(s+mb*\sigma 3n')^{a-1}} =$

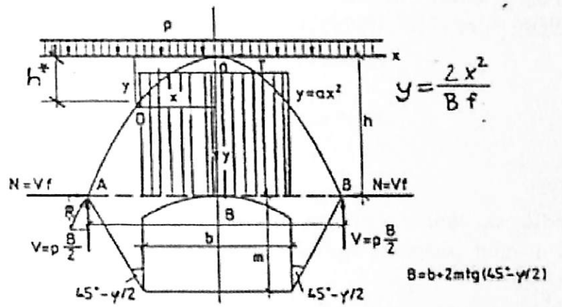
$\sin^{-1}\frac{6*0,506*0,00387*(s+0,00387*69,9)^{0,506-1}}{2*(1+0,506)*(2+0,506)+6*0,506*0,00387*(s+0,00387*69,9)^{0,506-1}} = 45,72° = \underline{45°}$

$\underline{E_{rm}} = 100000 * \frac{1-D/2}{1+e^{((75+25*D-GSI)/11)}} = \underline{9340}$

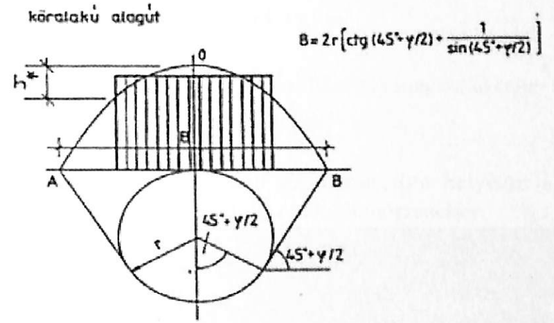
$\sigma_{\underline{1}}' = \sigma_3 + \sigma_{ci} * (m_b * \sigma_3/ \sigma_{ci} + s) = 1,2508 + 17,9 * (2,8505 * \frac{1,2508}{17,9} + 0,00387)$

$=\underline{9240\text{kN/m}^2}$

15.2 Protodjakonov féle kőzetnyomás elmélet számítása



$$y=\frac{2x^2}{Bf}$$



Kiinduló adatok:

Az alagút kör szelvényű, átmérője D = 13 m

Homokkő egyirányú nyomószilárdsága: σ_c=17,9 MPa = 17900kN/m^2

Belső súrlódásiszög: φ= 45°

A főtenyomás értéke:

P=ρ*h=21,6kN/m^3*120m = 2592kN/m^2

ahol: - ρ a kőzet sűrűsége,
h a mélység

A Protodjakonov féle kőzetszilárdsági osztály:

$f=\frac{\sigma_c}{10000}=\frac{17900}{10000}$ = 1,79kN/m^2

Az átboltozódási parabola szélességi mérete:

$B=2r*\{ctg(45+\varphi/2)+\frac{1}{sin(45+\varphi/2)}\}$ = 20m

ahol: φ = a talaj belső súrlódási szöge = 45°,

r = 6,5m az alagút sugara

Az A pontban nyomást kifejtő R eredő erő számítása:

-V függőleges erő = p*b/2 = 2592kN/m^2*20m/2 = 25920kN

-N vízszintes erő = V*f = 25920kN*1,79kN/m^2 = 46397kN

Ezek után: R = $\sqrt{V^2 + N^2}$ = 53146kN

Az átboltozódási parabola magassága:

$h = \frac{b}{2 \cdot f} = \frac{20}{2 \cdot 1,79} = 5,587$ m

Közel 120 méter mélyen vagyunk, tehát az álboltozódás kialakul. Plaxisban így csökkenthetjük a dobozmodellünk méreteit, hogy a háló készítésekor ne legyen annyi fölösleges pont.

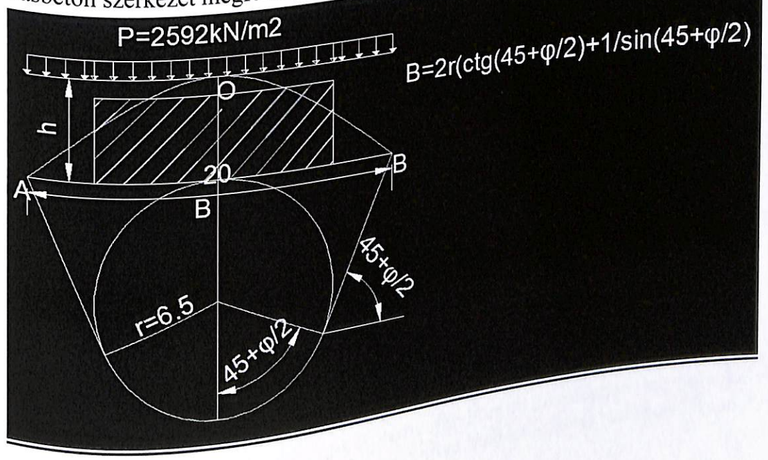
Az átboltozódási parabola területe:

$F = \frac{2}{3} * b * h = \frac{2}{3} * 20 * 5,587 = 74,493$ m^2

A lőtt betonozás számításához szükséges megoszló teher meghatározása:

$P = \frac{F \cdot \rho}{b} = \frac{74,493 \cdot 21,6}{13} = 123,77$kN/m

Ezt P terhet kell plaxisban az alagút fölé helyezni a lőttbeton, valamint a végleges vasbeton szerkezet megfelelésének ellenőrzésekor.



15.3 Q index meghatározása

Kőzettest szerkezete: $Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF}$

Az $\frac{RQD}{J_n}$ = maximum 200 lehet

RQD értékek: RQD_1 = 85% megfelelő
RQD_2 = 75% megfelelő
RQD_3 = 55% jó

A tagoltság mérőszámának meghatározása (J_n)
J_{n1} = 2 (Egy repedéscsoport)
J_{n2} = 6 (Két repedéscsoport + véletlen törés)
J_{n3} = 12 (Három repedéscsoport + véletlen törés)

A kőzettömbök nyírószilárdsága: $\frac{Jr}{Ja}$

A repedezettségi tényező (J_r)
J_{r1} = 2 (Sima vagy egyenletesen hullámos felület)
J_{r2} = 1,5 (Durva vagy rendszertelen sík felület)
J_{r3} = 1 (Sima felület)

A tagoltság elmozdulási tényezőjének (J_a)
J_{a1} = 1,5 (Csak felületbevonat képződött)
J_{a2} = 2 (Agyagásványokat nem tartalmazó kőzettörmelék esetén)
J_{a3} = 4 (Lágyuló v. kevéssé súrlódó agyagrétegek)

Feszültség értékek: $\frac{Jw}{SRF}$

A repedés-víz redukciós tényező (J_w)
J_{w1} = 1 (Száraz üreg vagy max. 5 l/perc vízszivárgás esetén)
J_{w2} = 1 (Száraz üreg vagy max. 5 l/perc vízszivárgás esetén)
J_{w3} = 1 (Száraz üreg vagy max. 5 l/perc vízszivárgás esetén)

A feszültségi redukciós tényező: (SRF)

SRF_1 = 10 Gyengült zóna, agyagos v. kémiailag bontott kőzetekben (bármely mélységben)
SRF_2 = 10 Gyengült zóna, agyagos v. kémiailag bontott kőzetekben (bármely mélységben)
SRF_3 = 12 Nagy kőzetnyomás esetén

Súlyozott Q-érték meghatározása

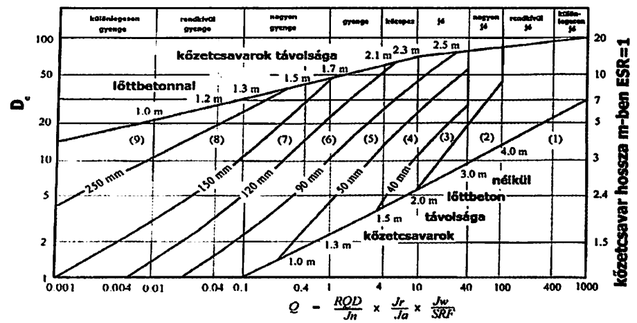
Q	legrosszabb (10%)	általános (60%)	max (30%)	súlyozott
RQD	85,0	75,0	55,0	70,0
Jn	2,0	6,0	12,0	7,4
Jr	2,0	1,5	1,0	1,4
Ja	1,5	2,0	4,0	2,6
Jw	1,0	1,0	1,0	1,0
SRF	10,0	10,0	12,0	10,6

$$Q = \frac{RQD}{} * \frac{Jr}{Ja} * \frac{Jw}{SRF} = Q = \frac{70}{7.4} * \frac{1.4}{2.6} * \frac{1}{10.6} = 0{,}49$$

Kőzettest osztályozása Q érték alapján

Osztály	**érték**	**Leírás**
I	0,001 – 0,01	különlegesen gyenge
II	0,01 – 0,04	rendkívül gyenge
III	0,04 – 0,4	nagyon gyenge
IV	0,4 – 4	gyenge
V	4 – 10	közepes
VI	10 – 40	jó
VII	40 – 100	nagyon jó
VIII	100 – 400	rendkívül jó
IX	400 – 1000	különlegesen jó

táblázat alapján IV. osztályú (0,4 – 4) → gyenge kőzet



Az ábra alapján 90-120 mm lőtt beton alkalmazása indokolt.

15.4 Fejtés közbeni mozgások meghatározás, lőttbeton falazat felhordási idejénekmeghatározása:

15.4.1 Kiinduló adatok 15centiméteres lőttbeton falazat kialakítása esetén:

Kiinduló adatok 15centiméteres lőttbeton falazat kialakítása esetén:

Alagút sugara: 6,5 méter
Belső súrlódási szög: $\varphi°$
Kohézió: c= 450 kN/m^2
E modulus: E=1400 MPa=1400000 kN/m^2
P_0in situ teher: $P_0 = 2592\ kN/m^2$
P_ia10 cm-es lőttbeton falazat teherbírása: 280 kN/m^2
σ_{cm}nyomószilárdságértéke: 4024 kN/m^2
$\sigma_3$hatékony törőfeszültség értéke: 1250 kN/m^2
ν, a homokkőre vonatkozó Poisson-tényező: 0,20

Képlékeny törési feltétel meghatározása Mohr – Coulomb kritérium szerint:

$\sigma_1 = \sigma_c + k * \sigma_3$

Ehhez először meg kell határozni a *k* – meredekséget

$k = \frac{(1+sin\varphi)}{(1-sin\varphi)} = \frac{(1+sin45^\circ)}{(1-sin45^\circ)} = 5{,}8282$

$\sigma_1$képletébe, a vissza helyettesítés:

$\sigma_1 = \quad 4024 + 5{,}8282 * 1250 = 11309{,}5\ kN/m^2$

Az alagút viselkedésére vonatkozó képletek:

Kritikus megtámasztó erő:

$p_{cr} = \frac{2\times P_0 - \sigma_C}{1+k} = \frac{2\times 2592 - 4024}{1+5.8284} = 169{,}878 kN/m^2$

Az alagút kölcsönhatás elemzése:

Két feltételt kell vizsgálni.
Először feltételezzük, hogy a p_i megtámasztó erő nagyobb, mint a ráható p_{cr}kritikus erő.
Vizsgálat rugalmasan.

$u_{ie} = \frac{r_0(1+\nu)}{E} * (p_0 - p_i) = \frac{6.5(1+0{,}2)}{1400000}(2592 - 400) = 0{,}0122$

Második eset, amikor a p_i megtámasztó erő kisebb, mint a vele szemben ható p_{cr} kritikus erő. Vizsgálat, kőzet fellazulásának meghatározása.

$r_p = = (\frac{2(p_0(k-1)+\sigma_c)}{(1+k)((k-1)p_i+\sigma_c)})^{\frac{1}{k-1}} = = (\frac{2(2592(5{,}8284-1)+4024)}{(1+5{,}8284)((5{,}8284-1)400+4024)})^{\frac{1}{5{,}8284-1}} = 6{,}228$ m

Az üreg falának elmozdulása:

$u_{ip} = \frac{r_0(1+\nu)}{E}\left[2(1-\nu)(p_0-p_{cr})(\frac{r_p}{r_0})^2-(1-2\nu)(p_0-p_i\right] = \frac{6.5(1+0.2)}{1400000}\left[2(1-0{,}2)(2592-169{,}878)(\frac{6.228}{6.5})^2-(1-2\times 0{,}2)(2592-400)\right] = 0{,}012494$

<u>Az alagút homlokfala előtt és után keletkező mozgások:</u>
A legnagyobb méretű plasztikus zónaarány számítása, megtámasztás nélkül $p_i = 0$.
$r_{pm}/r_0 = (\frac{2(p_0(k-1)+\sigma_c}{(1+k)\sigma_c})^{\frac{1}{(k-1)}} = (\frac{2(2592(5.8284-1)+4024}{(1+5.8284)4024})^{\frac{1}{(5.8284-1)}} = 1{,}0391$

A homloknál keletkező elmozdulás a következő formulából számítható:
$u_{if} = \left(\frac{u_{im}}{3}\right)e^{-0.15(\frac{r_{pm}}{r_0})} = \left(\frac{0.0129}{3}\right)e^{-0,15(1.0391)} = 0{,}003563$

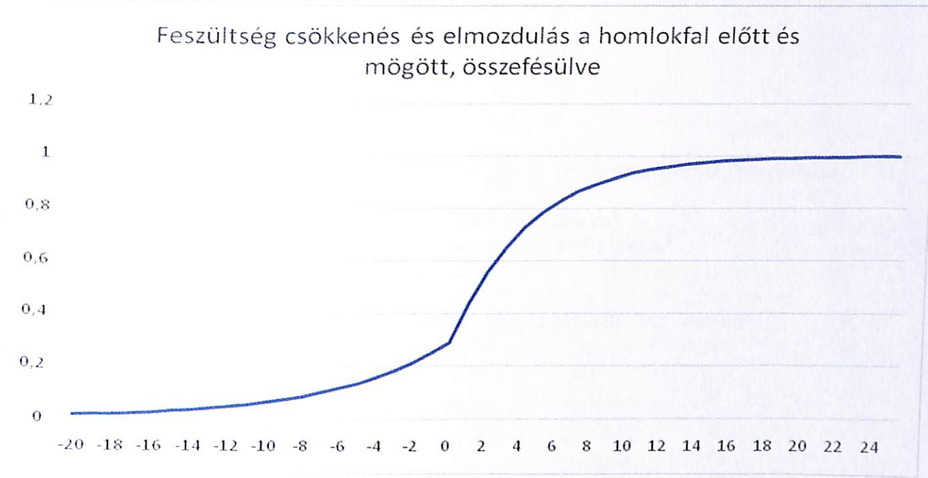
Az alagútban lévő feszültségek leépülésének mértéke a homlokfal előtt, $(x < 0)$.
$u_i = \frac{u_{if}}{u_{im}}e^{\frac{x}{r_0}}$

A felszültség csökkenése/mozgása a homlokfal előtt ($X < 0$), és mögött ($X > 0$).

Méter a fal előtt:	Feszültség csökk. mértéke
-20	0,013146908
-19	0,015333389
-18	0,017883507
-17	0,020857738
-16	0,024326619
-15	0,028372414
-14	0,033091071
-13	0,038594495
-12	0,0450132
-11	0,052499411
-10	0,061230663
-9	0,071414023
-8	0,083290992
-7	0,097143237
-6	0,113299269
-5	0,132142233
-4	0,154118998
-3	0,179750751
-2	0,209645357
-1	0,244511779
0	0,285176885

Méter a fal előtt:	Feszültség csökk. mértéke
1	0,437583424
2	0,557495557
3	0,651841374
4	0,726071838
5	0,784475718
6	0,830427379
7	0,866581745
8	0,895027684
9	0,9174087
10	0,935017887
11	0,948872642
12	0,959773442
13	0,968350096
14	0,975098132
15	0,980407428
16	0,984584736
17	0,987871405
18	0,990457327
19	0,992491909
20	0,994092699
21	0,995352188
22	0,996343142
23	0,997122816
24	0,997736257
25	0,998218907

Az adatok felvitele koordináta rendszerbe:



A megtámasztás maximum teherbírása:

$$p_{smax} = \frac{\sigma_{cc}}{2}\left[1 - \frac{(r_0 - t_c)^2}{r_0^2}\right] = \frac{25000}{2}\left[1 - \frac{(6{,}5 - 0{,}15^2}{6{,}5^2}\right] = 570{,}26 \text{kN/m}^2$$

A lőtt beton merevsége:

$$K_{sc} = \frac{E_c(r_0^2 - (r_0 - t_c)^2)}{2(1-\nu^2)(r_0 - t_c)r_0^2} = \frac{31000000(6{,}5^2 - (6{,}5 - 0{,}15)^2)}{2(1-0{,}15^2)(6{,}5 - 0{,}15)6{,}5^2} = 115999{,}04$$

A megtámasztás mozgásának képlete, ahol az u_{io}értéke az elkészített alagútmozgásokat mutató grafikonról történik. Leolvasásának folyamata: Megkeressük a homlokfal távolságát jelző skálán a tízes értéket, majd az ebből vetített egyenest a görbe találkozási pontjánál levetítjük, az így kapott érték *0,0117m*. Tehát a behelyettesítés a következő:

$$u_{iy} = u_{io} + \frac{p_{smax}}{Ks} = 0{,}0117 + \frac{570.26}{115999{,}04} = 0{,}01661 \text{ m}$$

A kapott értékekből kiderül, hogy csak 15 méterrel a homlokfal mögött lehetne elkezdeni a falazat beépítését, ezért 20 cm-es falazatra is megvizsgálom.

15.4.2 Kiinduló adatok 20 centiméteres lőtt beton falazat kialakítása esetén:

Alagút sugara: *6,5 méter*
Belső súrlódási szög: $\varphi^c = 45^c$
Kohézió: $c = 450\ kN/m^2$
E modulus: $E = 1400\ MPa = 1400000\ kN/m^2$
P_0~in situ teher: $P_0 = 2592\ kN/m^2$
$P_i$belső támasz, P_0-al szemben működő: *20 cm-es lőttbeton falazat teherbírása: 550* kN/m^2
σ_{cm}*nyomószilárdság*értéke, korábbi számításból: 4024 kN/m^2
$\sigma_3$hatékony törőfeszültség értéke, korábbi számításból: 1250 kN/m^2
ν, a homokkőre vonatkozó Poisson-tényező: *0,20*

Képlékeny törési feltétel meghatározása Mohr – Coulomb kritérium szerint:
$\sigma_{cm} = \frac{2 \cdot c \cdot \cos\varphi}{1-\sin\varphi} = 2172{,}79$ kN/m^2

Ehhez először meg kell határozni a *k* – meredekséget

$k = \frac{(1+\sin\varphi)}{(1-\sin\varphi)} = \frac{(1+\sin 45^c)}{(1-\sin 45^c)} = 5{,}8282$

$\sigma_1$képletébe, a vissza helyettesítés:

$\sigma_1 = \sigma_{cm} + k * \sigma_3$

$\sigma_1 = \quad 2172{,}79 + 5{,}8284 * 1250 = 9469{,}2\ kN/m^2$

Az alagút viselkedésére vonatkozó képletek:

Kritikus megtámasztó erő:

$p_{cr} = \frac{2 \times P_0 - \sigma_C}{1+k} = \frac{2 \times 2592 - 2172.79}{1+5.8284} = 440{,}98$kN/m^2

Az alagút kölcsönhatás elemzése:

Két feltételt kell vizsgálni.
Először feltételezzük, hogy a p_i megtámasztó erő nagyobb, mint a ráható p_{cr}kritikus erő.
Vizsgálat rugalmasan.

$u_{ie} = \frac{r_0(1+\nu)}{E} * (p_0 - p_i) = \frac{6.5(1+0{,}2)}{1400000}(2592 - 550) = 0{,}011377$

Második eset, amikor a p_i megtámasztó erő kisebb, mint a vele szemben ható p_{cr} kritikus erő. Vizsgálat, kőzet fellazulásának meghatározása.
Ebben az esetben az r_p értékének nincs értelme, így ezt a lépést kihagyjuk.

Az üreg falának elmozdulása:
u_{ip} képletében p_i helyére 0-át helyettesítünk, be míg az r_p/r_0 helyére az r_{pm}/r_0 értékét helyettesítjük be:

$u_{ip} = \frac{r_0(1+\nu)}{E}\left[2(1-\nu)(p_0-p_{cr})(\frac{r_{pm}}{r_0})^2-(1-2\nu)(p_0-p_i\right] = \frac{6.5(1+0,2)}{1400000}\left[2(1-0,2)(2592-440,98)(\frac{7,487}{6.5})^2-(1-2\times 0,2)(2592-0)\right] = 0,01678$

Ebben az esetben $u_{ip} = u_{im}$

Az alagút homlokfala előtt és után keletkező mozgások:

A legnagyobb méretű plasztikus zónaarány számítása, megtámasztás nélkül $p_i = 0$.

$r_{pm}/r_0 = (\frac{2(p_0(k-1)+\sigma_c}{(1+k)\sigma_c})^{\frac{1}{(k-1)}} = (\frac{2(2592(5,8284-1)+2172,79}{(1+5,8284)*2172,79})^{\frac{1}{(5,8284-1)}} = 1,152$

A homloknál keletkező elmozdulás a következő formulából számítható:

$u_{if} = \left(\frac{u_{im}}{3}\right)e^{-0,15(\frac{r_{pm}}{r_0})} = \left(\frac{0,01678}{3}\right)e^{-0,15(1,152)} = 0,0047$

Az alagútban lévő feszültségek leépülésének mértéke a homlokfal előtt, $(x < 0)$.

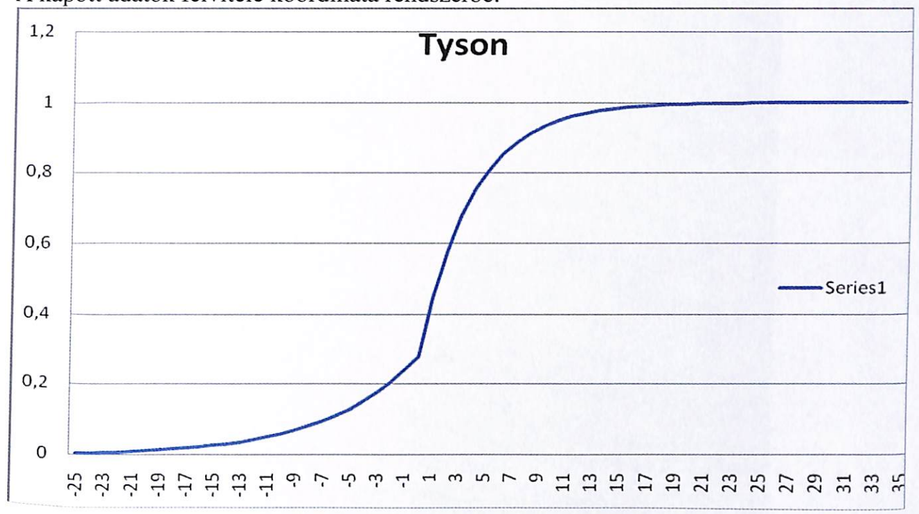
$u_i = \frac{u_{if}}{u_{im}}e^{\frac{x}{r_0}}$

A felszültség csökkenése/mozgása a homlokfal előtt ($X < 0$), és mögött ($X > 0$).

Méter a fal előtt:	Feszültség csökk. mértéke
-20	0,012913
-19	0,01506
-18	0,017565
-17	0,020486
-16	0,023893
-15	0,027867
-14	0,032501
-13	0,037907
-12	0,044211
-11	0,051564
-10	0,06014
-9	0,070142
-8	0,081807
-7	0,095412
-6	0,11128
-5	0,129788
-4	0,151373
-3	0,176548
-2	0,20591
-1	0,240155
0	0,280095

Méter a fal után:	Feszültség csökk. mértéke
1	0,448152
2	0,576977
3	0,675729
4	0,751428
5	0,809455
6	0,853936
7	0,888034
8	0,914172
9	0,934208
10	0,949566
11	0,96134
12	0,970365
13	0,977283
14	0,982586
15	0,986651
16	0,989767
17	0,992156
18	0,993987
19	0,995391
20	0,996467
21	0,997292
22	0,997924
23	0,998409
24	0,99878
25	0,999065

A kapott adatok felvitele koordináta rendszerbe:



A lőttbeton minősége C25/30-as, így a rugalmassági modulusa = $E_{cm} = 31.000$ kN/m^2
A σ_{cc} értéke = $f_{ck} = 25.000$ kN/m^2 ,
A $t_c = 20$ cm = 0,2 m

$$P_{scmax} = \frac{\sigma cc}{2} * (1 - \frac{(r0-tc)^2}{r0^2}) = \frac{25000}{2} * (1 - \frac{(6,5-0,2)^2}{0,2^2}) = 757,4 \text{ kN/m}^2$$

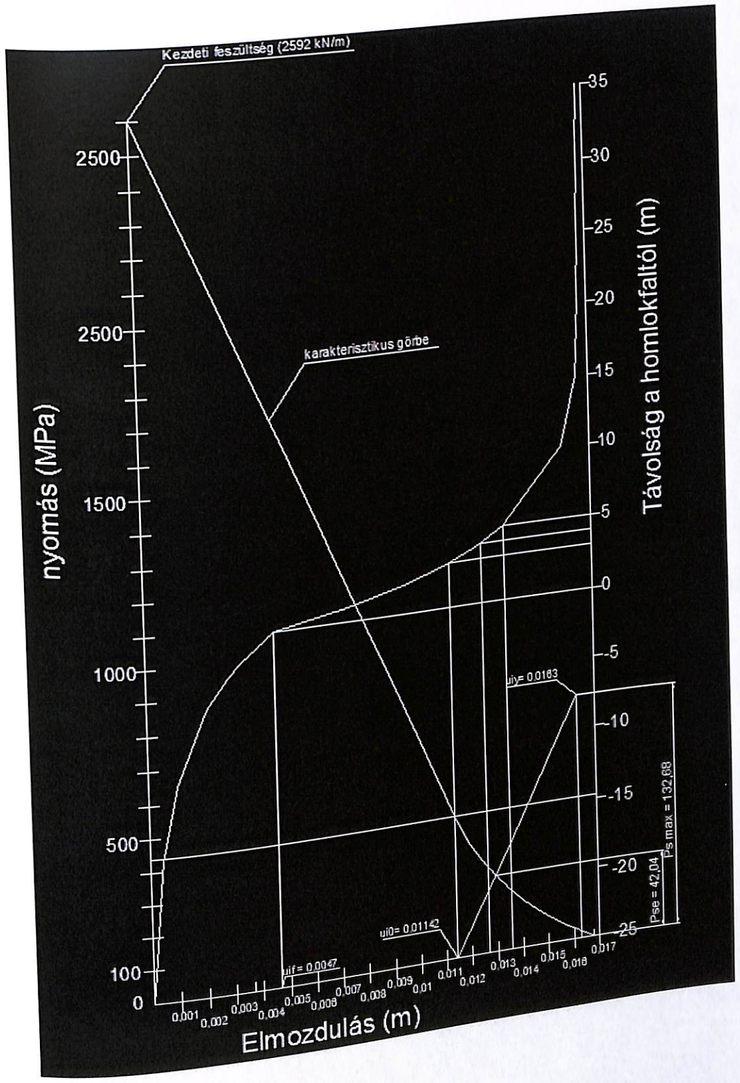
$$K_{sc} = \frac{Ec*(r0^2-(r0-tc)^2}{2*(1-\gamma^2)(r0-tc)*r0^2} = \frac{31000*(6,5^2-(6,5-0,2)^2}{2*(1-0,2^2)(6,5-0,2)*6,5^2} = 155290$$

$$u_{iy} = u_{i0} + \frac{Psmax}{Ks} = 0,0115 + \frac{757,4}{155290} = 0,0163$$

Autocadban kapott értékek alapján:

$$FS = \frac{Psmax}{Pse} = \frac{132.68}{42.04} = 3,16$$

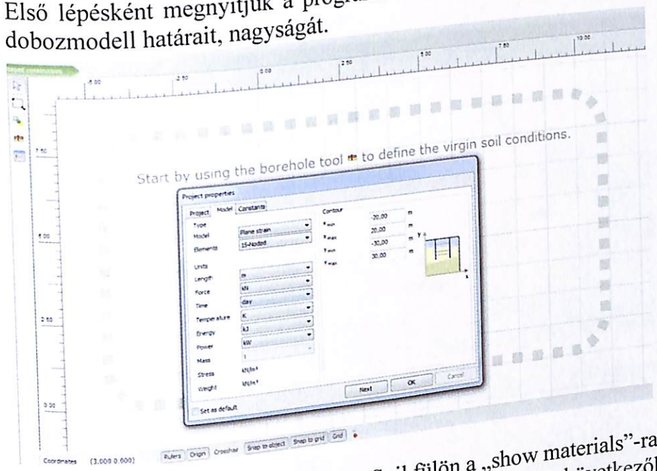
Tehát több mint háromszoros biztonságú a lőttbeton falazat, ha 3 méterrel a homlokfal után építjük be.


Kezdeti feszültség (2592 kN/m)
karakterisztikus görbe
nyomás (MPa)
Távolság a homlokfaltól (m)
2500
2500
1500
1000
500
100
0
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
uiy= 0.0163
ui0= 0.01142
uif= 0.00467
Pss max = 132,68
Pse = 42,04
0.001
0.002
0.003
0.004
0.005
0.006
0.007
0.008
0.009
0.01
0.011
0.012
0.013
0.014
0.015
0.016
0.017
Elmozdulás (m)

15.5 Plaxis számítás

15.5.1 20 cm-es lőttbeton falazatra ellenőrzés:

Első lépésként megnyitjuk a programot és elnevezzük a projectet, valamint megadjuk a dobozmodell határait, nagyságát.

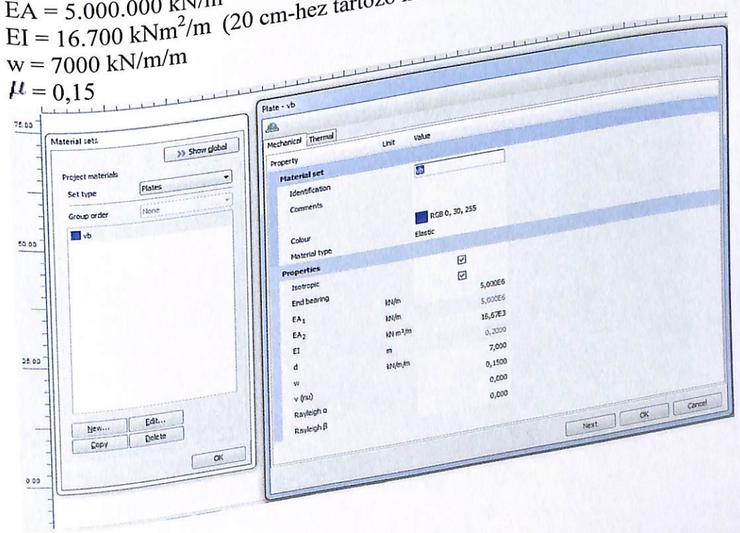


Talajadatok és az anyagok bevitele: Soil fülön a „show materials”-ra kattintunk. „soil and interfaces”-ben megadjuk a talaj adatait. Ezek a következők:

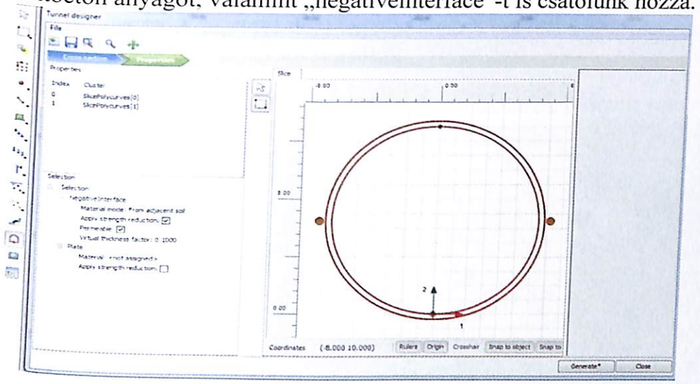
Homokkő: $\gamma = 21{,}6$ kN/m^3 (talaj nyomószilárdsága)
$E = 1.400.000$ kN/m^2
$\mu = 0{,}2$ (Poisson tényező)
$\varphi = 45$ (talaj belső súrlódási szöge)
$c = 450$ kN/m^2 (kohézió)

Plates fülön a lőttbeton tulajdonságait adjuk meg. Ezek a következők:

$EA = 5.000.000$ kN/m
$EI = 16.700$ kNm^2/m (20 cm-hez tartozó inercia)
$w = 7000$ kN/m/m
$\mu = 0{,}15$

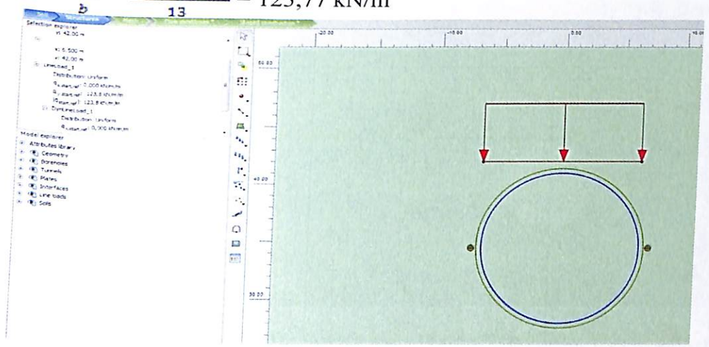


Structures fülön megadjuk az alagút paramétereit. Az alagút sugara 6,5 m. Ez után kijelöljük, majd jobb egérgomb segítségével csatoljuk hozzá a már korábban elkészített lőttbeton anyagot, valamint „negativeinterface”-t is csatolunk hozzá.

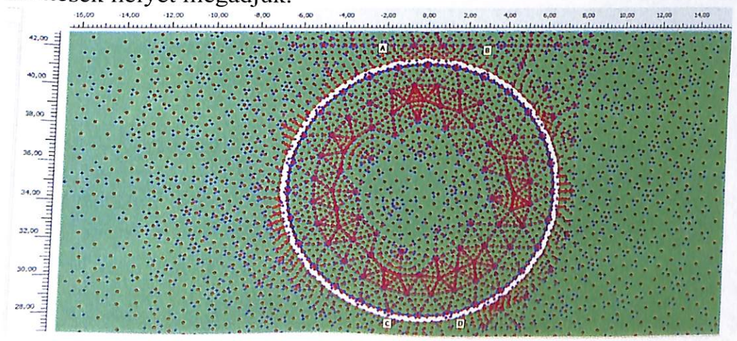


Create line load-ra kattintva megadjuk a Protodjakonov módszerrel korábban kiszámolt terhelést.

$$P = \frac{F \cdot \rho}{b} = \frac{74.493 \cdot 21.6}{13} = 123{,}77 \text{ kN/m}$$



Ezt követőn a „Mesh” fülre kattintunk, majd a „selectpointsforcurves”-re, hogy a pont sűrítések helyét megadjuk.

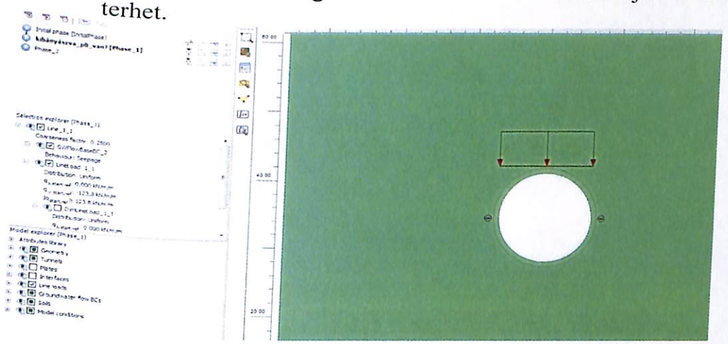


„Flow conditions" füllel most nem kell foglalkozni, mert a vizsgált területen nincs összefüggő talajvíz. Az esetleges rétegvizekkel pedig nem számol a program.

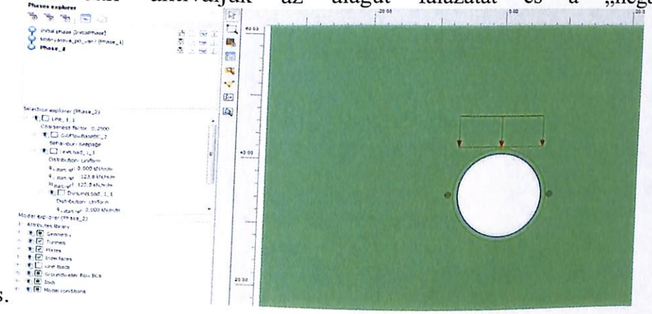
„Stagedconstructions" fül tulajdonképpen az a számítási rész plaxisban.
Kalkulációnk három részből fog állni:

1. szakaszt csak szimplán lefuttatjuk, mintha nem történne semmi a talajban.

2. szakaszban az alagút keresztmetszetében kitermeljük a földet és aktiváljuk a terhet.

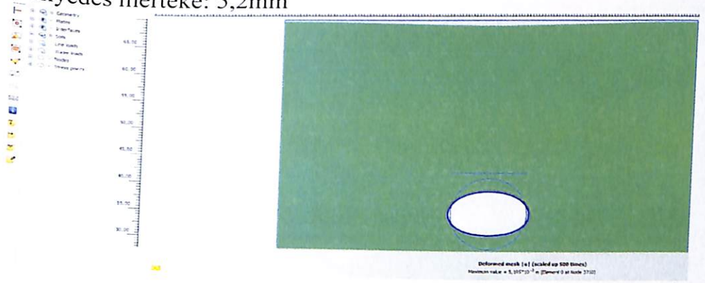


3. szakaszban aktiváljuk az alagút falazatát és a „negativeinterfaces"-t is.

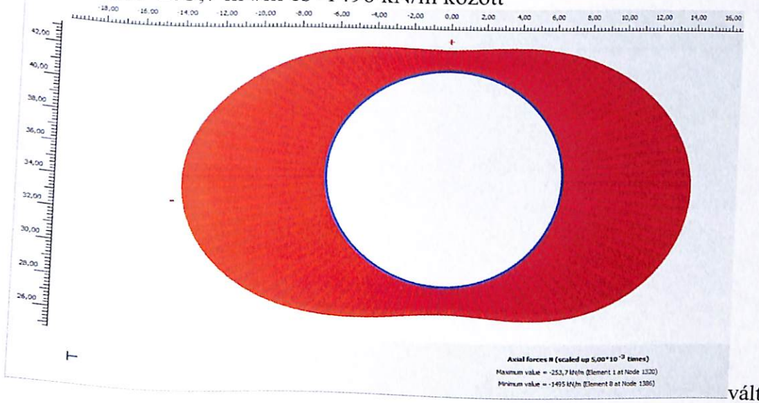


Ha mindent beállítottunk, akkor következik a „calculation", majd ha minden rendben lefutott, akkor a „calculationresults"-ra kattintva megnézhetjük az eredményeket.

Ezek után az adatok kiértékelése következik.
Süllyedés mértéke: 5,2mm

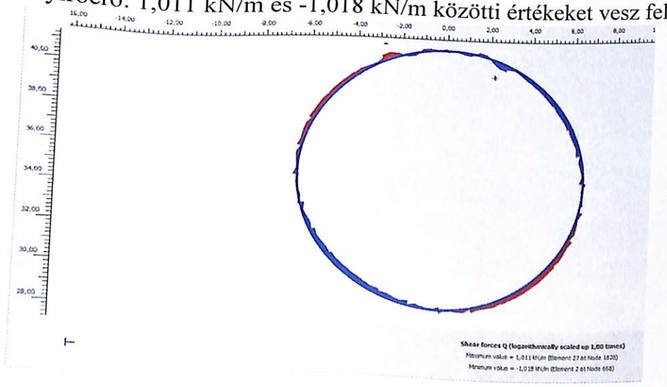


Normálerő: -253,7 kN/m és -1496 kN/m között

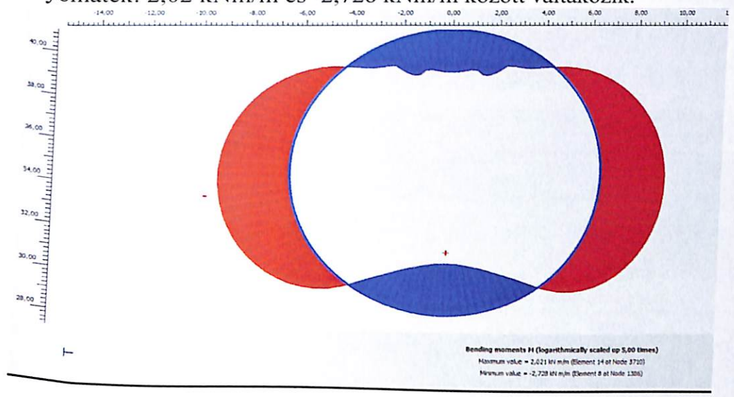


váltakozik

Nyíróerő: 1,011 kN/m és -1,018 kN/m közötti értékeket vesz fel.



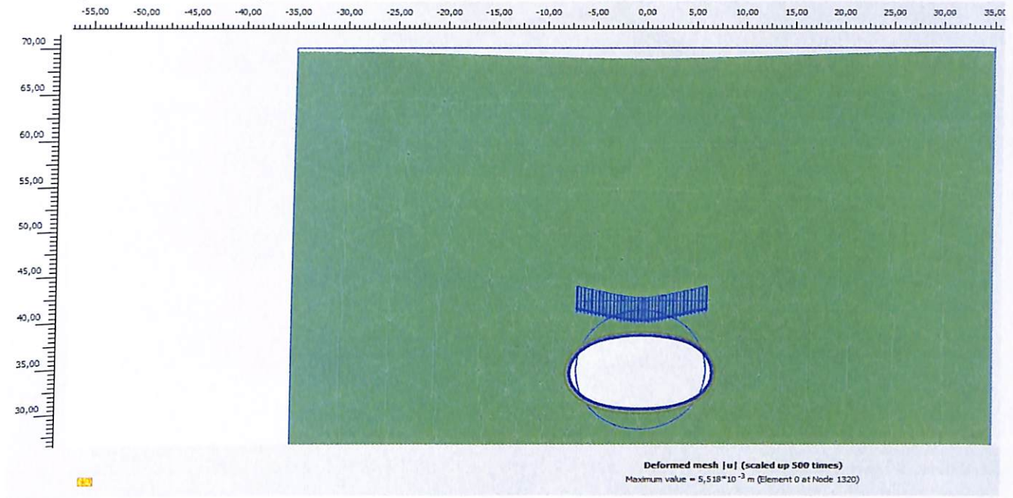
Nyomaték: 2,02 kNm/m és -2,728 kNm/m között váltakozik.



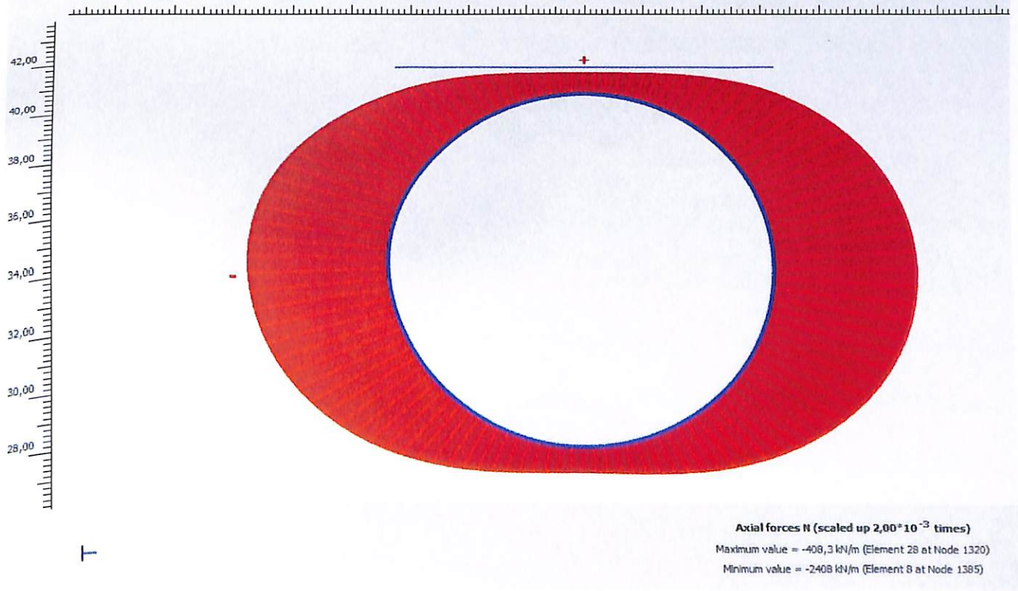
15.5.2 40 cm-es vasbeton falazatra ellenőrzés:

A modell ugyanúgy néz ki mint az előző esetben, csak a falvastagságot fel kell tenni 40 cm-re (EI = 66.660 kNm^2/m (40 cm-hez tartozó inercia). Így a kapott adatok a következők:

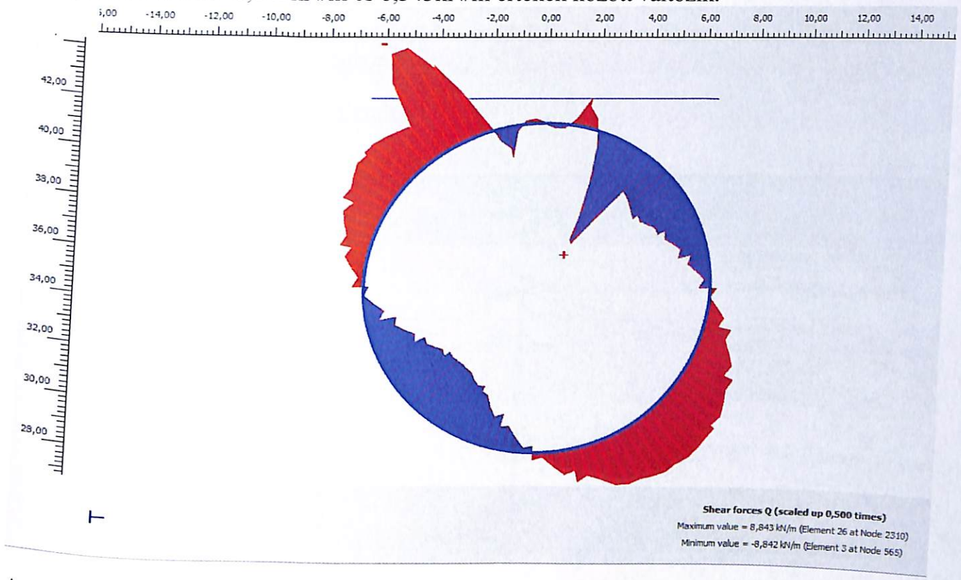
A süllyedés mértéke 5,3 mm



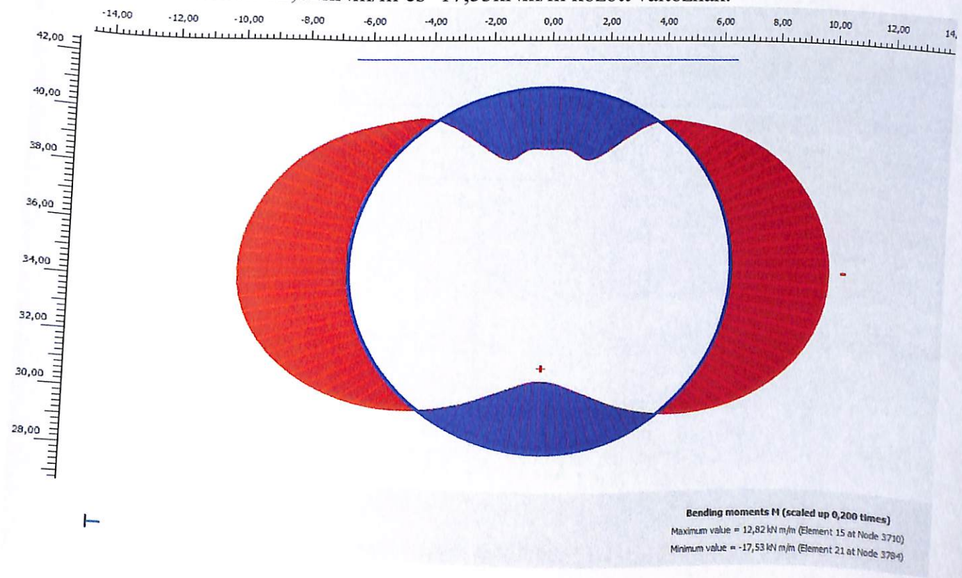
A normál erő értéke -408,3kN/m és -2408kN/m között váltakozik



A nyíróerő értéke -8,842kN/m és 8,343kN/m értékek között változik.



A nyomatéki értékek 12,82kNm/m és -17,53kNm/m között változnak.

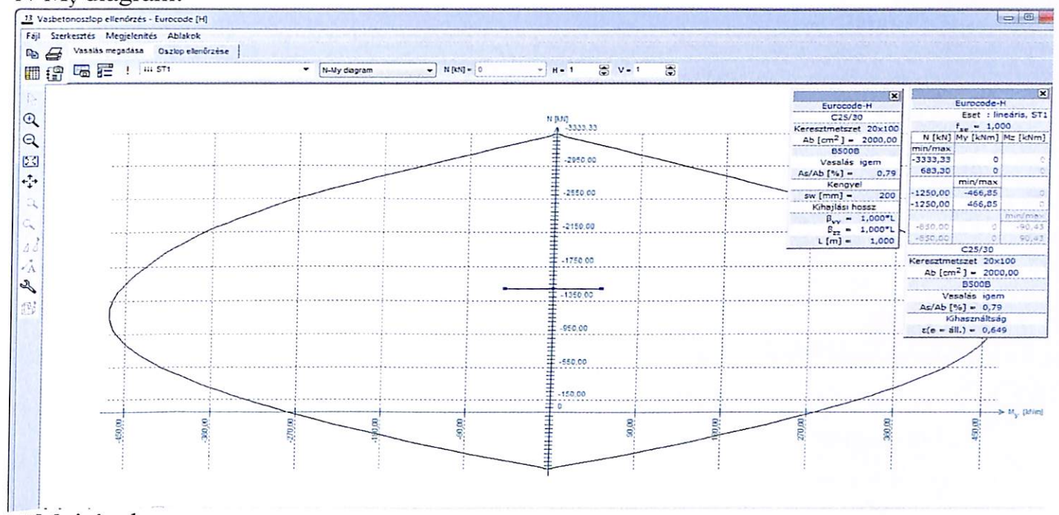


15.6 Axis számítása

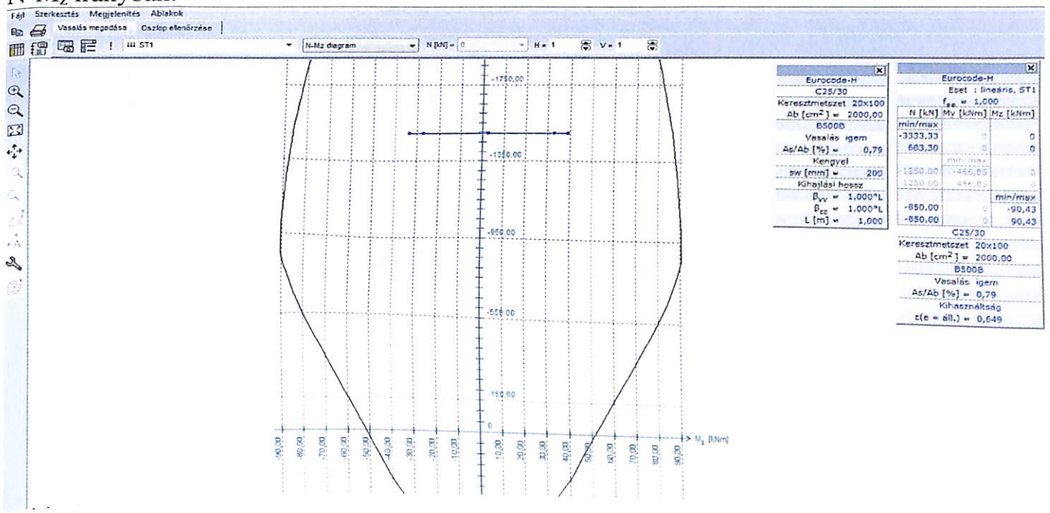
Axisba központosan nyomott oszlopként modellezzük le az alagutat, mert így állnak a terhek legközelebb az „igazsághoz”

15.6.1 20cm-es lőttbetonra ellenőrzés:

N-M_y diagram:

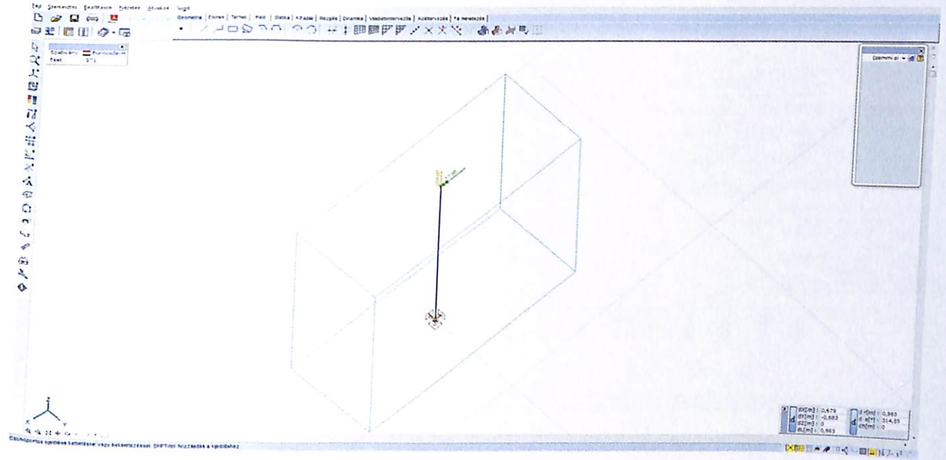


N-M_z irányban:

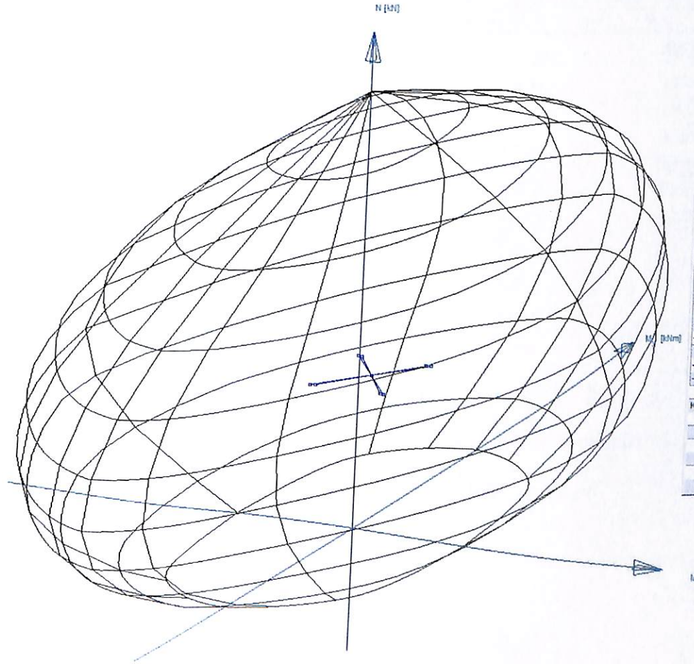


Látható, hogy a szerkezet kellő biztonsággal megfelel.

15.6.2 40cm-es vasbeton falazatra ellenőrzés:



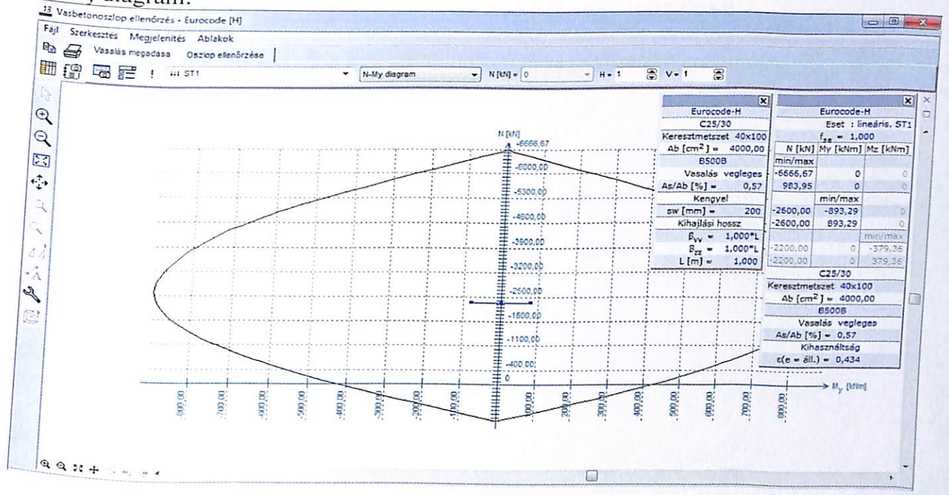
A hagyma alakú terhelési görbék:



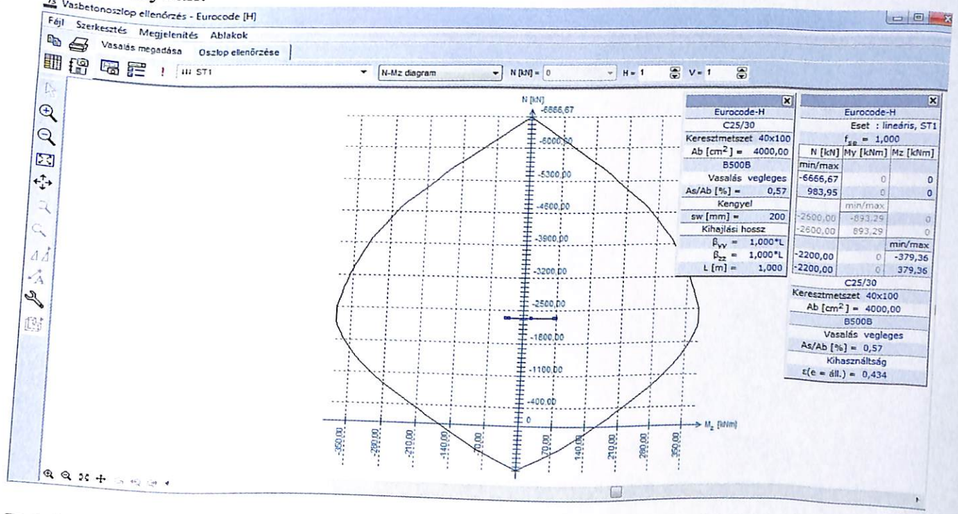
Eurocode-H
C25/30
Keresztmetszet 40x100
Ab [cm²] = 4000,00
B500B
Vasalás vegleges
As/Ab [%] = 0,57
Kengyel
sw [mm] = 200
Kihajlási hossz
β_{yy} = 1,000*L
β_{zz} = 1,000*L
L [m] = 1,000

Eurocode-H		
Eset : lineáris, ST1		
f_{ck} = 1,000		
N [kN]	My [kNm]	Mz [kNm]
min/max		
-6666,67	0	0
983,95	0	0
	min/max	
-2600,00	-893,29	0
-2600,00	893,29	0
		min/max
-2200,00	0	-379,36
-2200,00	0	379,36
C25/30		
Keresztmetszet 40x100		
Ab [cm²] = 4000,00		
B500B		
Vasalás vegleges		
As/Ab [%] = 0,57		
Kihasználtság		
ε(e = áll.) = 0,434		

N-M_y diagram:



N-M_z irányban:



Tehát 40 cm-es vasbeton falazatra szintén megfelel az alagút.

15.7 Repedéstágasság ellenőrzése

A 40 cm-es vasbeton falazatra kell számolni 100 éves tervezési időtartamra.

kiinduló adatok:

- C25/30-as beton→ $E_{cm} = 31000\ N/mm^2$
  $E_{ceff} = 9300\ N/mm^2$
  $f_{ctd} = 1{,}2\ N/mm^2$
- B500-as betonacél→ $f_{yd} = 435\ N/mm^2$
  $E_s = 200\ N/mm^2$

Szükséges vasak:
$A_{s1} = A_{s2} = 905\ mm^2$ (8db φ12-es vas alkalmazása)

Dolgozó magasság:
$d_1 = h - c_{nom} - \varphi/2 = 400 - 60 - 12/2 = \underline{334\ mm}$

$d_2 = c_{nom} + \varphi/2 = 60 + 12/2 = \underline{66\ mm}$

Az acél és a beton feszültségének aránya a nyomott oldalon:
$\alpha_e = \frac{Es}{Ec} = \frac{200}{9.3} = \underline{21{,}51}$

a 2. feszültségi állapot szerint:
$\frac{1}{2}x^2 * b * \alpha_e * (x - d_2) * A_{s2} + \alpha_e * (x - d_1) * A_{s1} = 0$

$\frac{1}{2}x^2 * 1000 * 21{,}51 * (x - 66) * 905 + 21{,}51 * (x - 334) * 905 = 0$

$\underline{x = 99{,}11\ mm}$

A nyomott öv magassága:

$h_{ceff} = \min$ $2{,}5 * (h - d) = 2{,}5 * (400 - 334) = 165\ mm$
$(h - x)/3 = (400 - 99{,}11)/3 = \underline{100{,}3\ mm}$
$h/2 = 400/2 = 200\ mm$

Hatékony húzott terület:
$A_{ceff} = b * h_{ceff} = 100{,}3 * 1000 = \underline{100300\ mm^2}$

A repedések maximális távolsága:
$s_{rmax} = 3{,}4 * c_{nom} + 0{,}425 * k_1 * k_2 * \varphi * \frac{Aceff}{As} =$
$3{,}4 * 66 + 0{,}425 * 0{,}8 * 0{,}5 * 12 * \frac{100300}{905} = \underline{405{,}31\ mm}$

Acél feszültség:
$\sigma_s = f_{yd} * \frac{Med}{Mrd} = 435 * \frac{17}{350} = \underline{21{,}13\ N/mm^2}$

A húzott acélbetét átlagos nyúlása a repedések között:
$E_{sm} = \frac{\sigma s - 0.4 * fctd * \frac{Aceff}{As}}{Es} = \frac{21.13 - 0.4 * 1.2 * \frac{100300}{905}}{200000} = 0{,}000107$

15.7 Repedéstágasság ellenőrzése

A 40 cm-es vasbeton falazatra kell számolni 100 éves tervezési időtartamra.

kiinduló adatok:

- C25/30-as beton→ $E_{cm} = 31000$ N/mm^2
  $E_{ceff} = 9300$ N/mm^2
  $f_{ctd} = 1{,}2$ N/mm^2
- B500-as betonacél→ $f_{yd} = 435$ N/mm^2
  $E_s = 200$ N/mm^2

Szükséges vasak:
$A_{s1} = A_{s2} = 905$ mm^2 (8db φ12-es vas alkalmazása)

Dolgozó magasság:
$d_1 = h - c_{nom} - \varphi/2 = 400 - 60 - 12/2 = \underline{334 \text{ mm}}$

$d_2 = c_{nom} + \varphi/2 = 60 + 12/2 = \underline{66 \text{ mm}}$

Az acél és a beton feszültségének aránya a nyomott oldalon:
$\alpha_e = \frac{Es}{Ec} = \frac{200}{9.3} = \underline{21{,}51}$

a 2. feszültségi állapot szerint:
$\frac{1}{2}x^2 * b * \alpha_e * (x - d_2) * A_{s2} + \alpha_e * (x - d_1) * A_{s1} = 0$

$\frac{1}{2}x^2 * 1000 * 21{,}51 * (x - 66) * 905 + 21{,}51 * (x - 334) * 905 = 0$

$\underline{x = 99{,}11 \text{ mm}}$

A nyomott öv magassága:

$h_{ceff} = \min$ $2{,}5 * (h - d) = 2{,}5 * (400 - 334) = 165$ mm
$(h - x)/3 = (400 - 99{,}11)/3 = \underline{100{,}3 \text{ mm}}$
$h/2 = 400/2 = 200$ mm

Hatékony húzott terület:
$A_{ceff} = b * h_{ceff} = 100{,}3 * 1000 = \underline{100300 \text{ mm}^2}$

A repedések maximális távolsága:
$s_{rmax} = 3{,}4 * c_{nom} + 0{,}425 * k_1 * k_2 * \varphi * \frac{Aceff}{As} =$
$3{,}4 * 66 + 0{,}425 * 0{,}8 * 0{,}5 * 12 * \frac{100300}{905} = \underline{405{,}31 \text{ mm}}$

Acél feszültség:
$\sigma_s = f_{yd} * \frac{Med}{Mrd} = 435 * \frac{17}{350} = \underline{21{,}13 \text{ N/mm}^2}$

A húzott acélbetét átlagos nyúlása a repedések között:
$E_{sm} = \frac{\sigma s - 0.4 * fctd * \frac{Aceff}{As}}{Es} = \frac{21.13 - 0.4 * 1.2 * \frac{100300}{905}}{200000} = 0{,}000107$

A húzott beton átlagos nyúlása a repedések között:

$E_{cm} = \frac{0,4 * f_{ctd}}{E_c} = \frac{0,4 * 1,2}{9300} = 0,0000516$

A repedéstágasság karakterisztikus értéke:

$w_k = s_{rmax} * (E_{sm} - E_{cm}) = 405,31*(0,000107 - 0,0000516) = 0,064$ mm < 0,2 max (megfelel)

$0,6 * s_{rmax} * \sigma_s / E_s = 0,6 * 21,13 / 200 = 0,028$

XVI. Köszönetnyilvánítás

Czap Zoltán tanár Úrnak a Plaxisban és a Protodjakonov számításban nyújtott segítségéért.

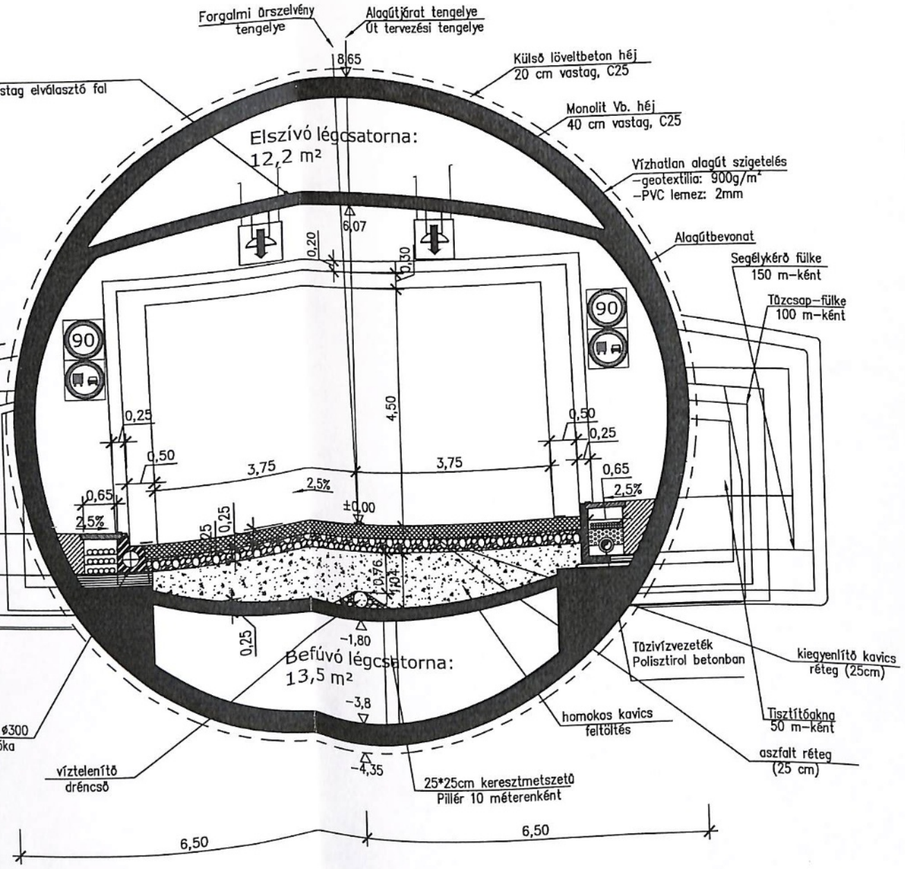
Sunyovszky Gábor mérnök Úrnak, mert nélküle a költségvetés és a vasalási terv soha nem készülhetett volna el.

Professzor Dr. Telekes Gábor tanár Úrnak, aki egyben a belső konzulensem is szeretném megköszönni a rengeteg támogatást, segítséget és türelmet, amit irányomban tanúsított.

Végül, de nem utolsó sorban külső konzulensemnek, Grabarits József okleveles mérnök Úrnak is köszönöm egész féléves készséges segítség nyújtását, a rengeteg instrukciót, megoldást és a temérdek türelmet.

Összegzés:

Nagyon élveztem ezeket a hónapokat, amiket a szakdolgozat írásával tölthettem, de ugyanakkor örömmel tölt el, hogy végre elkészült.



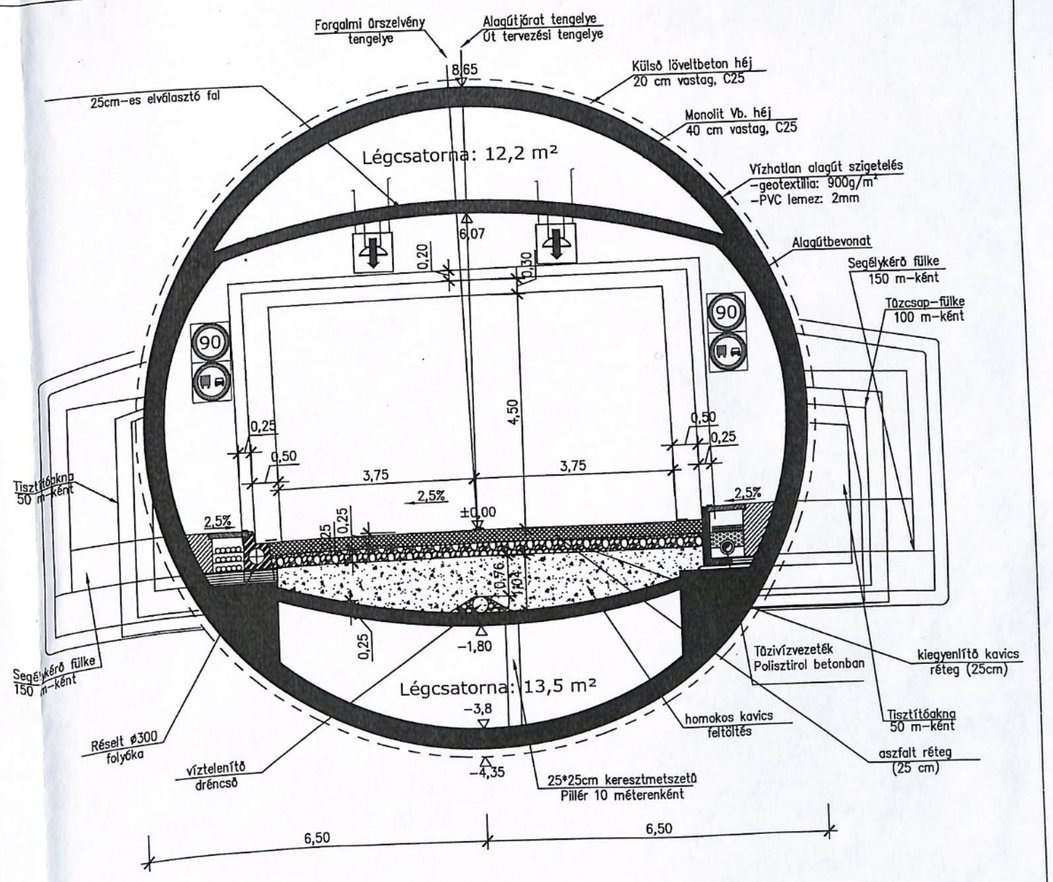
Jobb járat

Megjegyzés:

0+0,000=150,1 m Bf

Anyagminőség: Lőttbeton: C25/30
Vasbeton: C25/30
Betonacél: B500

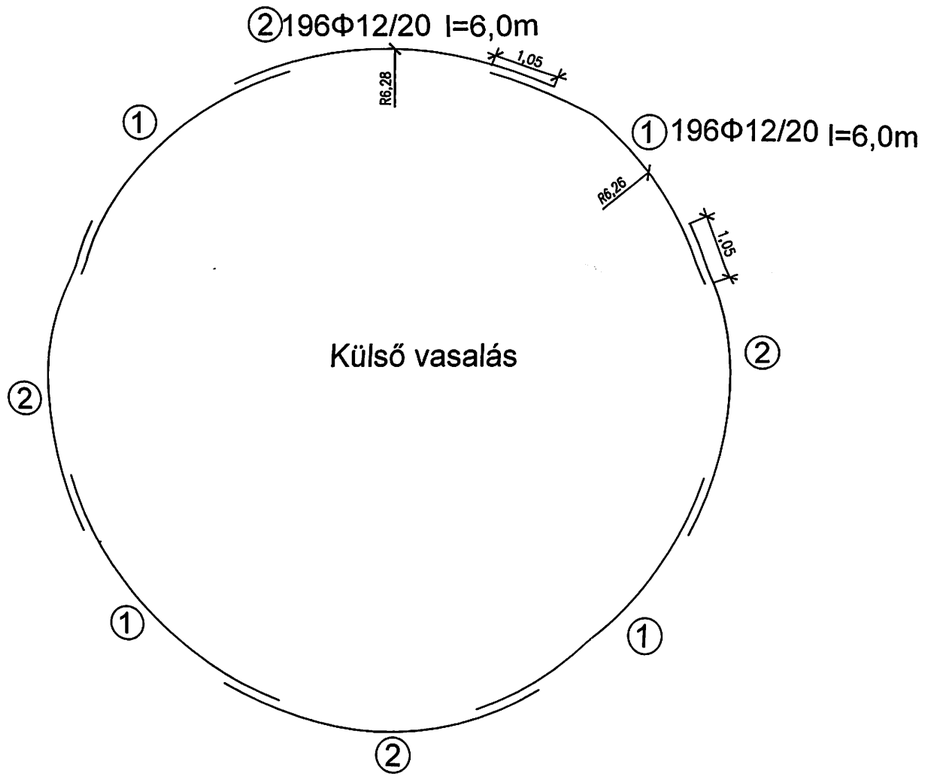
Betonfedés: Lőttbetonnál 30 mm
Vasbetonnál 60 mm

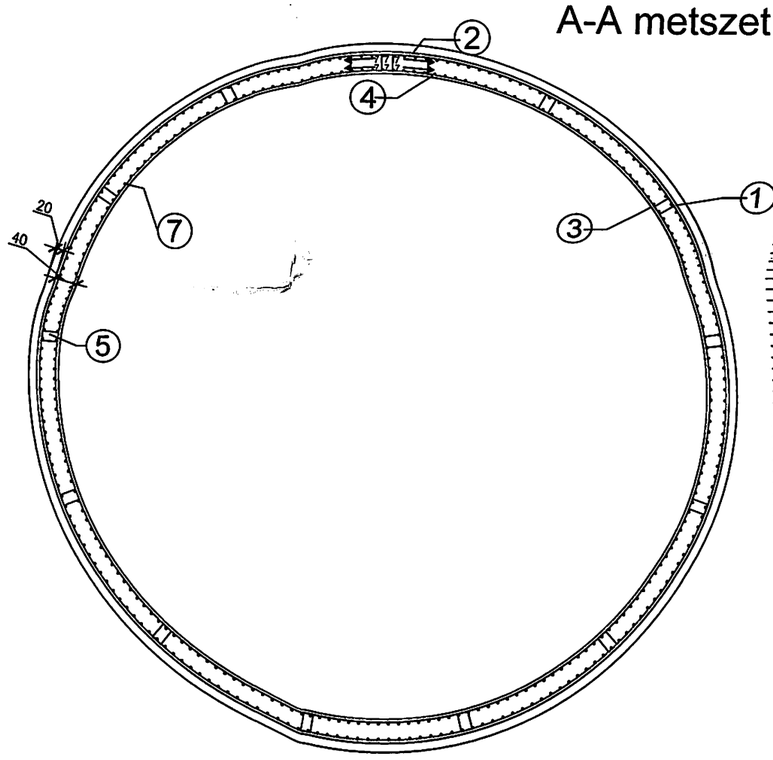


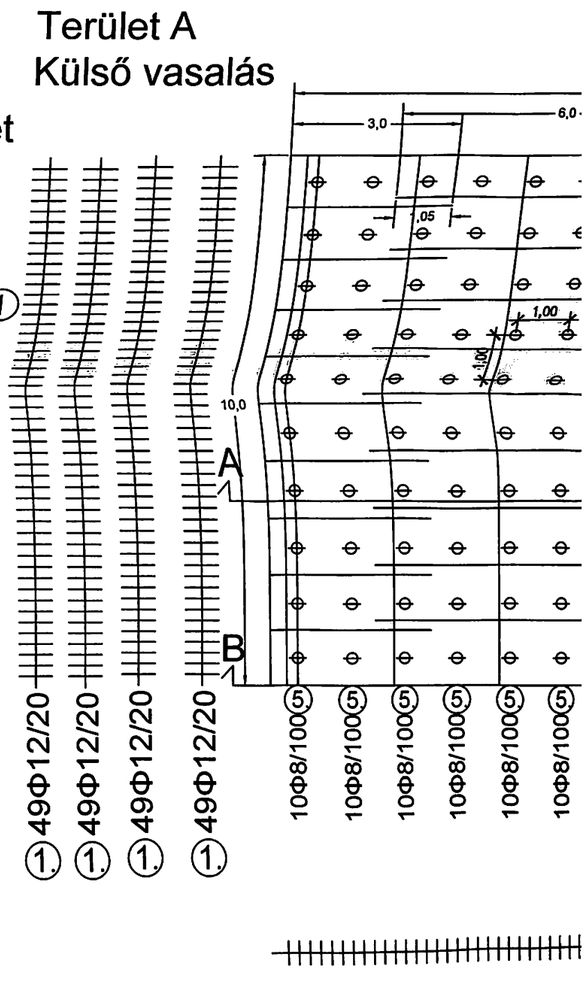
Bal járat

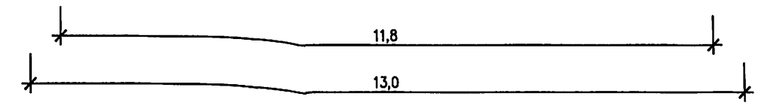
Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar		
Projekt: M0-ás körgyűrű Észak-Nyugati szakaszának tervezése pajzsos módszerrel		
Téma: Szakdolgozat	Rajz neve: mintakeresztszelvény	Rajz száma: 1
Neptunkód: [redacted]	Külső konzulens: Grabarits József	Méretarány: M=1:100
Készítette: Kajcsos Balázs	Belső konzulens: Telekes Gábor	Dátum: 2016.05.12

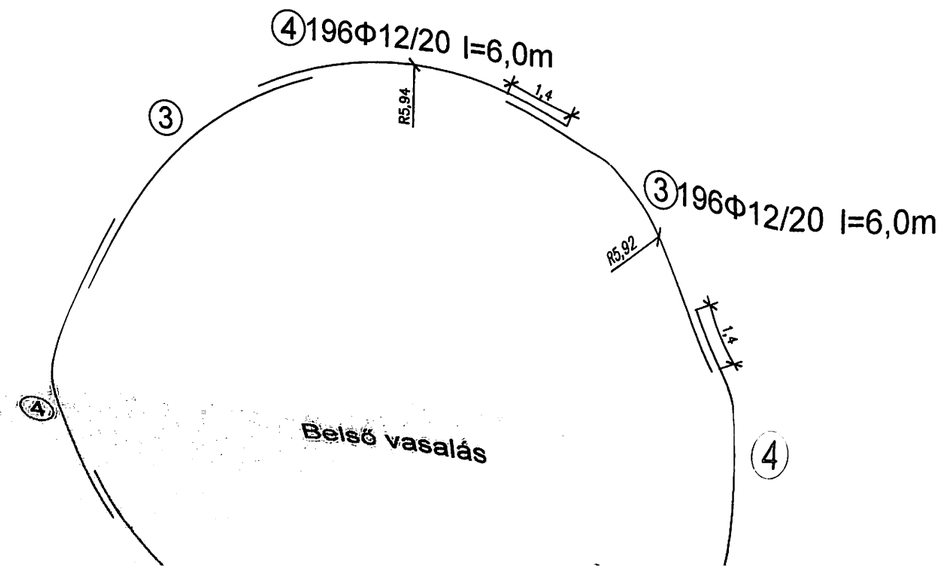
Kajcsos Balázs

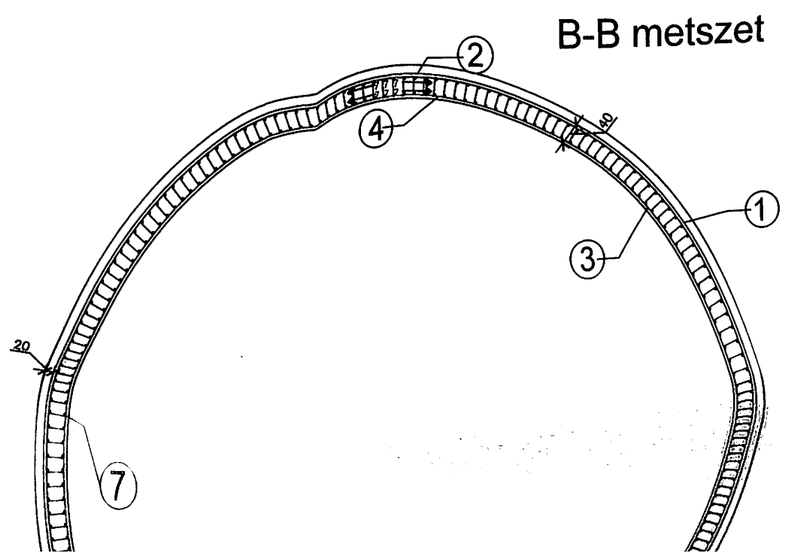

②196Φ12/20 l=6,0m
1,05
R6,28
①196Φ12/20 l=6,0m
R6,26
1,05
Külső vasalás
①
②

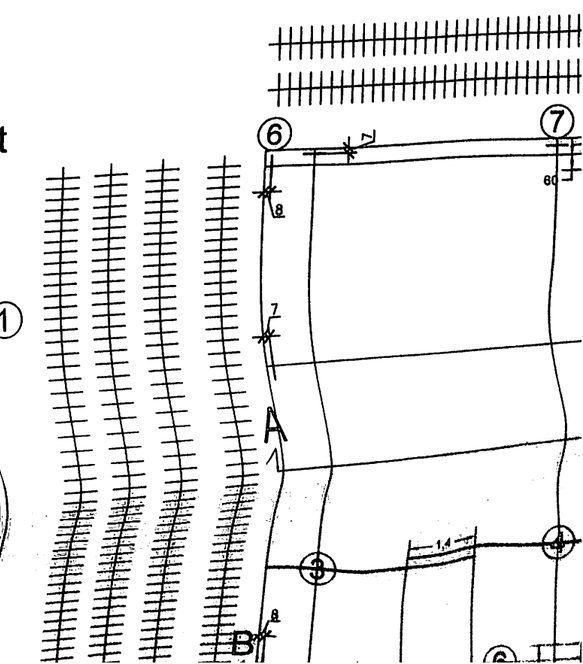

A-A metszet
②
④
①
③
⑦
20
40
⑤

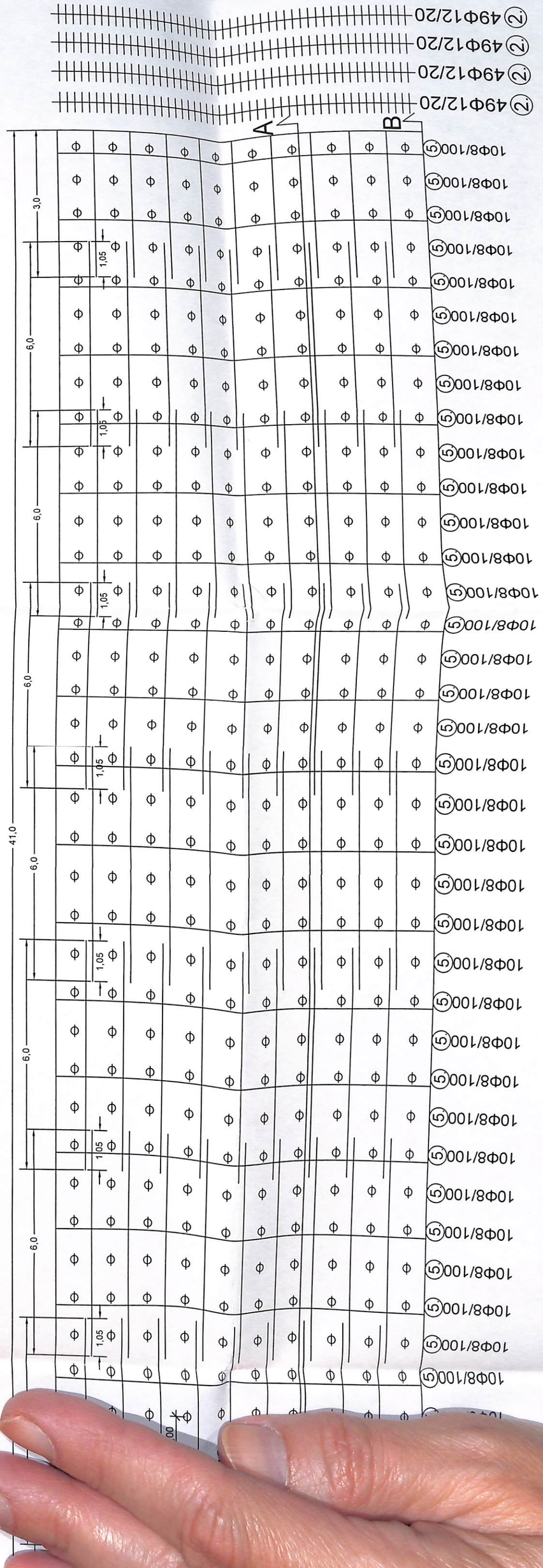

Terület A
Külső vasalás
3,0
6,0
1,05
1,00
10,0
A
B
①49Φ12/20
①49Φ12/20
①49Φ12/20
①49Φ12/20
⑤10Φ8/100
⑤10Φ8/100
⑤10Φ8/100
⑤10Φ8/100
⑤10Φ8/100
⑤10Φ8/100

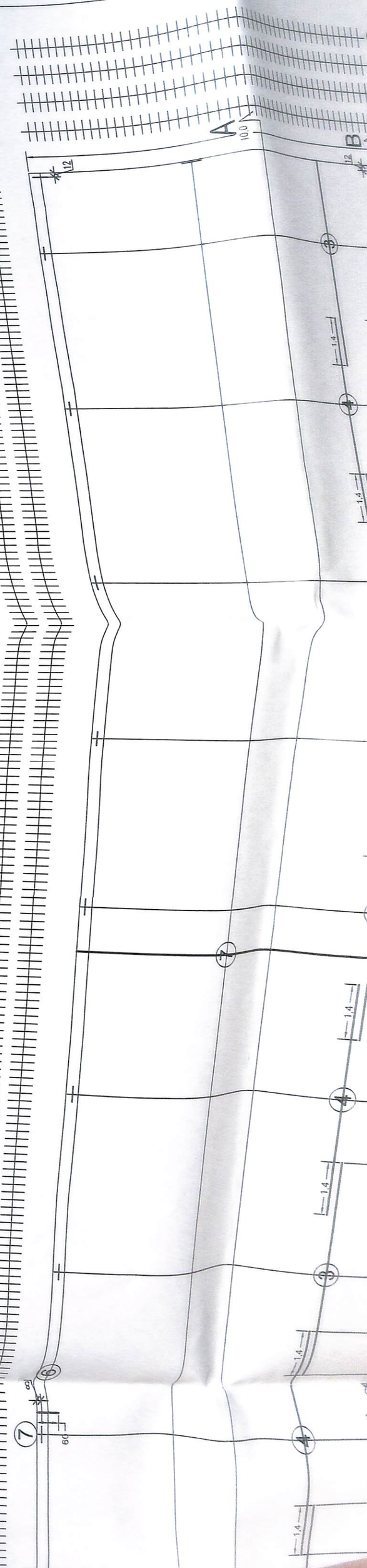

11,8
13,0

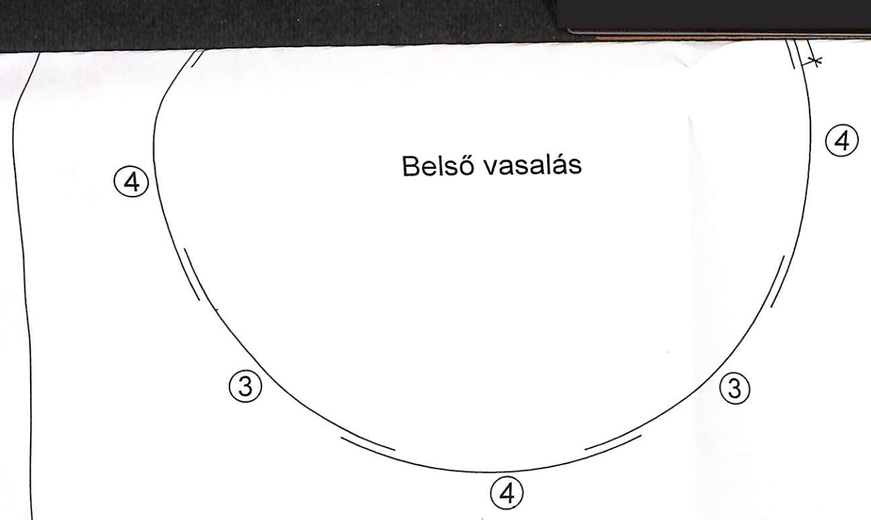

④196Φ12/20 l=6,0m
R5,94
1,4
③196Φ12/20 l=6,0m
R5,92
1,4
Belső vasalás
③
④

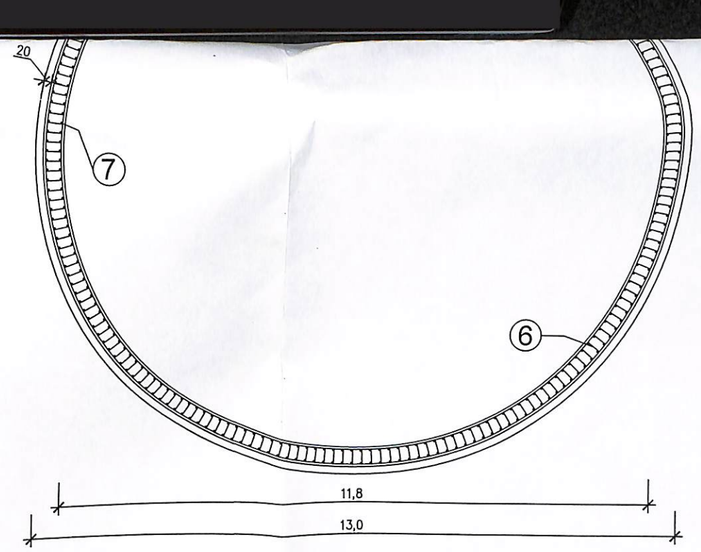

B-B metszet
②
④
①
③
20
⑦

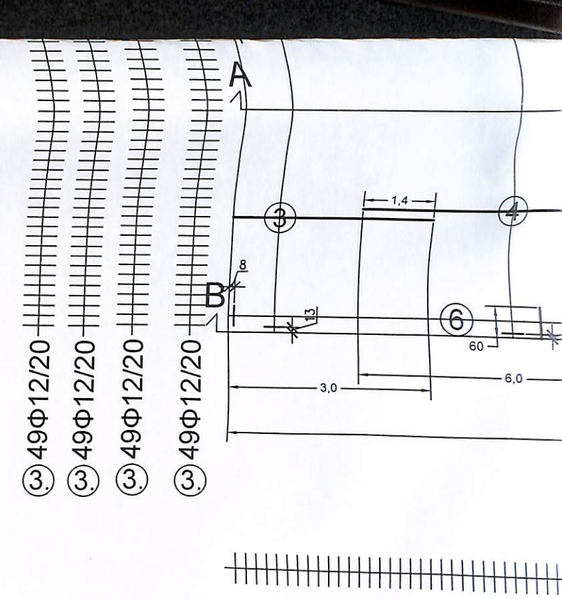

Terület B
Belső vasalás
⑥
⑦
7
60
8
7
A
B
1,4
③
④


A
B
⑦204Φ12/20
⑥204Φ10/20
⑦204Φ12/20
②49Φ12/20
②49Φ12/20
②49Φ12/20
②49Φ12/20
⑤10Φ8/100
1,05
3,0
6,0
41,0

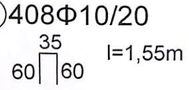

A
B
1,2
1,4
6,0
7
4
3
6
9,0



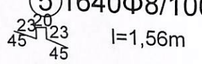




⑥408Φ10/20 l=1,55m



⑤1640Φ8/100 l=1,56m



⑦408Φ12/20 l=10m

Betonacél kimutatás

Szám	Átmérő	Db	Hossz	Φ8	Φ10	Φ12
1	12	196	6			1176
2	12	196	6			1176
3	12	196	6			1176
4	12	196	6			1176
5	8	1632	1,56	2558		
6	10	406	1,55		632,4	
7	10	406	10,0		4080	

átm.	kg/m3	teljes hossz	súly (kg)
8	0,394	2558	1008
10	0,617	4712,4	2908
12	0,888	4704	4177
		Össz súly	8093

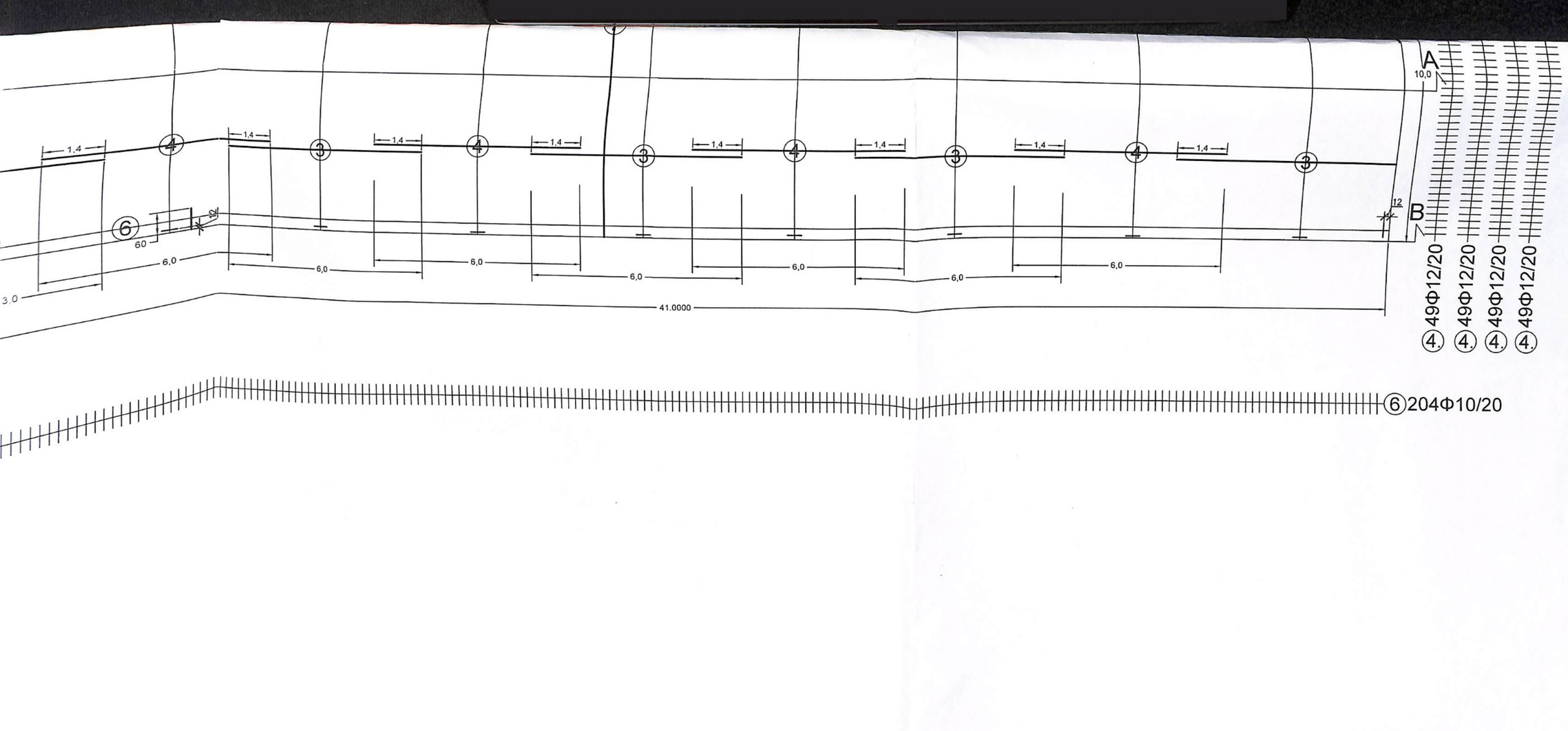
Megjegyzés:

Anyagminőség: Lőttbeton: C25/30
Vasbeton: C25/30
Betonacél: B500

Betonfedés: Lőttbetonnál 30 mm
Vasbetonnál 60 mm

Az alagútra ebben a szelvényben ható teher: qk=124,5kN/

Egyéb: - A visszahullott lőttbetont nem szabad újra felhasz
- Az 5-ös számú távtartó vasak a 7-es számú vasal
kerüljenek felszerelésre. Négyzetméterenként 4 d



eher: qk=124,5kN/m

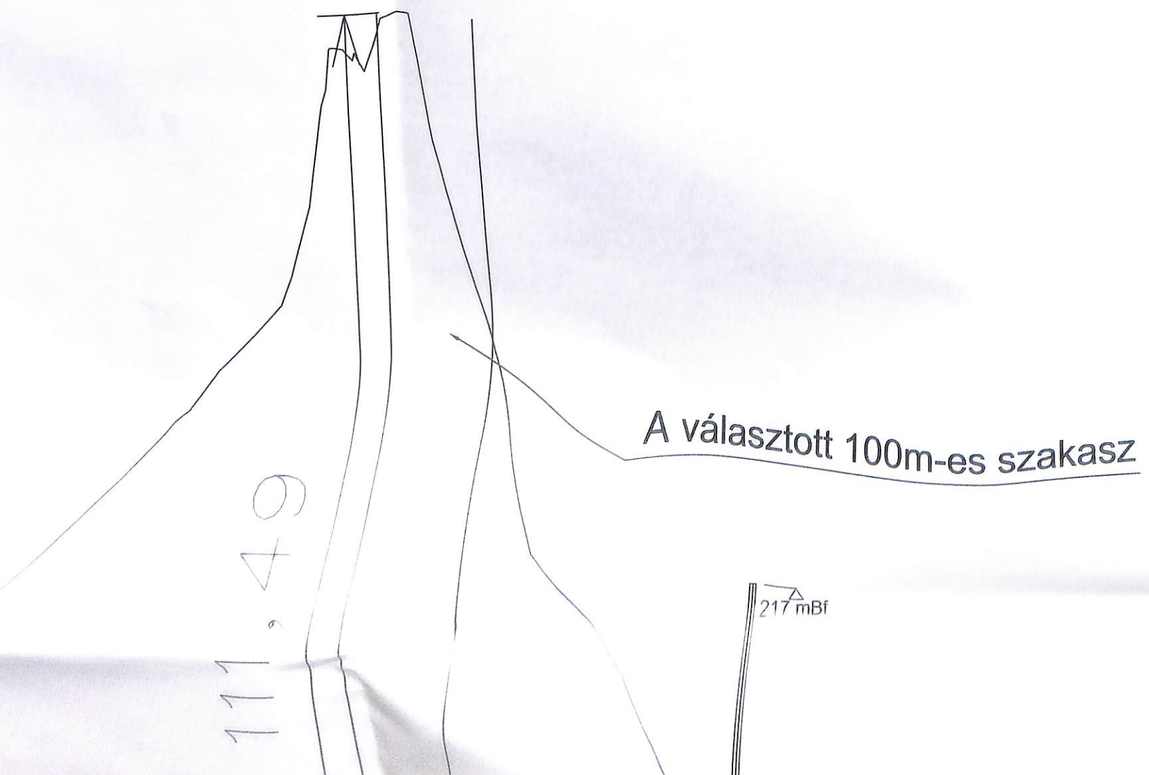
zabad újra felhasználni!!

7-es számú vasakhoz

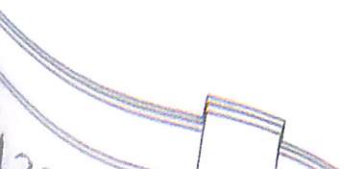
etméterenként 4 db

Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar		
Projekt: M0-ás körgyűrű Észak-Nyugati szakaszának tervezése pajzsos módszerrel		
Téma: Szakdolgozat	Rajz neve: Vasalási terv	Rajz száma: 2
Neptunkó [redacted]	Külső konzulens: Grabarits József	Méretarány: M=1:100
Készítette: Kajcsos Balázs	Belső konzulens: Telekes Gábor	Dátum: 2016.05.20

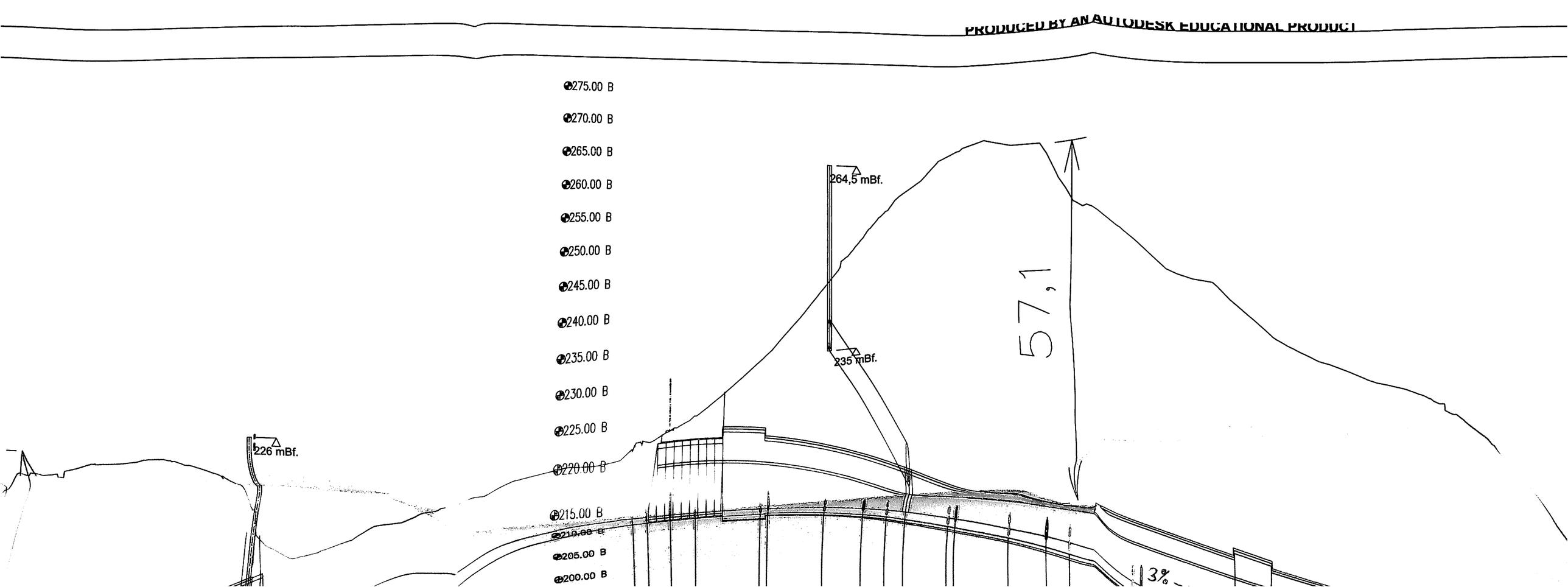
Kajcs Balázs


A választott 100m-es szakasz
111.49
217 mBf

SK EDUCATIONAL PRODUCT



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



78+346 Tűzcsap-fülke
78+386 Segélykérő fülke
78+446 Tűzcsap-fülke

45,1

82+382 Segélykérő fülke

82+470 Tűzcsap

91.21 165.83

82+527,0
82+532 Segélykérő fülke
82+555 Vészátjáró
82+570 Tűzcsap
82+584,0

főpálya pályaszint

főpálya terepszint

82+670 Tűzcsap
82+682 Segélykérő fülke

4,5% →

195.98 161.43

82+770 Tűzcsap

82+832 Segélykérő fülke / Vészátjáró

82+870 Tűzcsap

82+970 Tűzcsap
82+982 Segélykérő fülke

15.87 157.33

83+070 Tűzcsap

83+127,0
83+132 Segélykérő fülke
83+155 Harántjárat
83+170 Tűzcsap
83+184,0

39.92 153.23

83+270 Tűzcsap
83+282 Segélykérő fülke

111,49

83+370 Tűzcsap

83+432 Segélykérő fülke / Vészátjáró

83+470 Tűzcsap

29.41 149.13

83+570 Tűzcsap
83+582 Segélykérő fülke
83+600 Szellőző gépház

83+670 Tűzcsap

83+732 Segélykérő fülke / Vészátjáró
83+737 Szellőző kürtő

2.52 145.03

83+770 Tűzcsap

178 mBf.

217 mBf.

83+870 Tűzcsap
83+882 Segélykérő fülke

83+970 Tűzcsap

84+000 Kisajátítás határa
84+020 Építési mód váltás

4.29 140.96

84+032 Segélykérő fülke
84+055 Alagút vége
84+070 Tűzcsap (a portál előtt)

A választott 100m-es szakasz

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

264,5 mBf.

235 mBf.

57,1

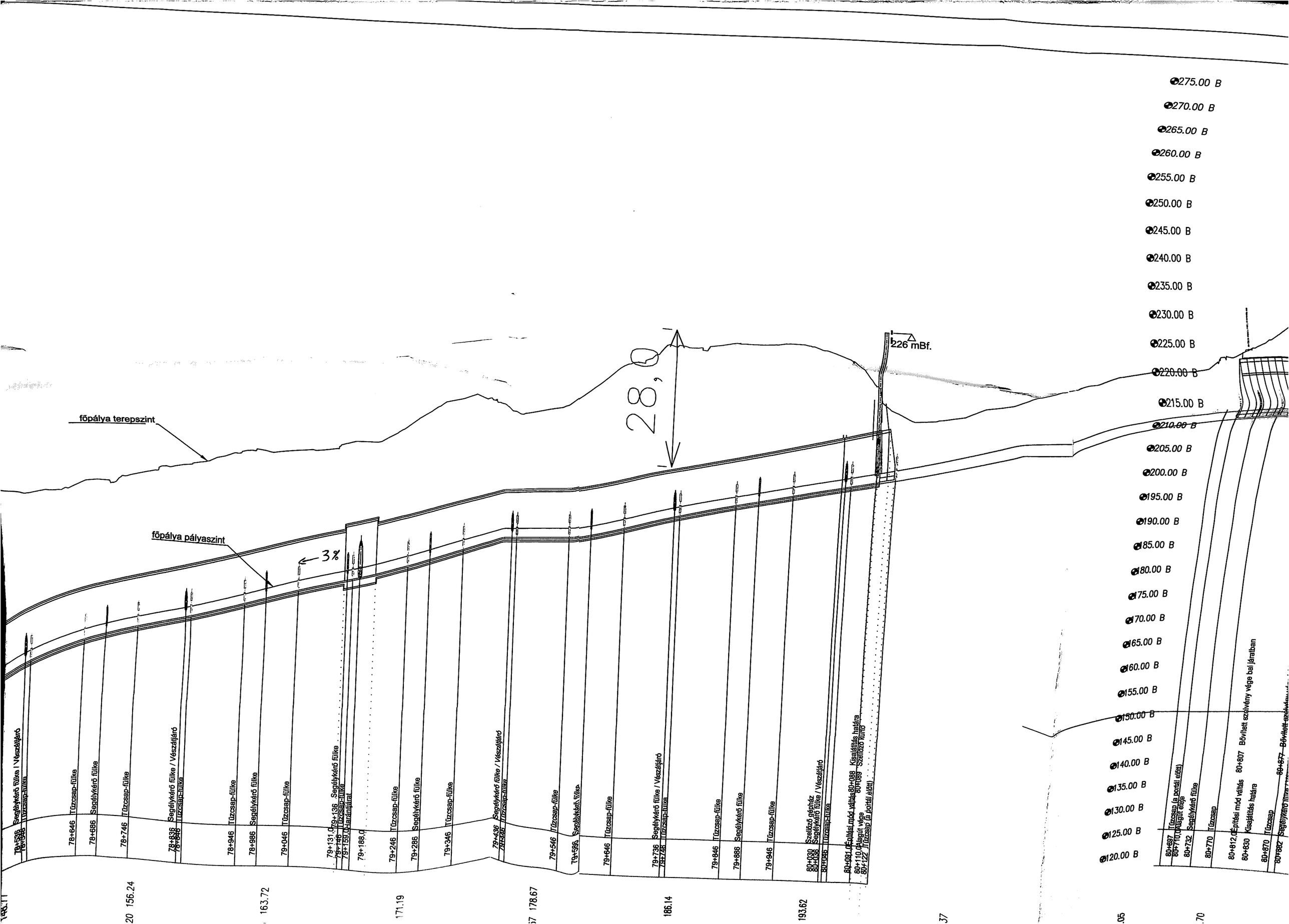
3% →

főpálya terepszint

főpálya pályaszint

1,5% →

| | | |


275.00 B
270.00 B
265.00 B
260.00 B
255.00 B
250.00 B
245.00 B
240.00 B
235.00 B
230.00 B
225.00 B
220.00 B
215.00 B
210.00 B
205.00 B
200.00 B
195.00 B
190.00 B
185.00 B
180.00 B
175.00 B
170.00 B
165.00 B
160.00 B
155.00 B
150.00 B
145.00 B
140.00 B
135.00 B
130.00 B
125.00 B
120.00 B
226 mBf.
28°
főpálya terepszint
főpálya pályaszint
3%
78+336 Segélykérő fülke / Vészátjáró
78+346 Tűzcsap-fülke
78+646 Tűzcsap-fülke
78+686 Segélykérő fülke
78+746 Tűzcsap-fülke
78+836 Segélykérő fülke / Vészátjáró
78+846 Tűzcsap-fülke
78+946 Tűzcsap-fülke
78+986 Segélykérő fülke
79+046 Tűzcsap-fülke
79+131.0 79+136 Segélykérő fülke
79+146 Tűzcsap-fülke
79+159.0 Járdafájárat
79+188.0
79+246 Tűzcsap-fülke
79+286 Segélykérő fülke
79+346 Tűzcsap-fülke
79+436 Segélykérő fülke / Vészátjáró
79+446 Tűzcsap-fülke
79+546 Tűzcsap-fülke
79+596 Segélykérő fülke
79+646 Tűzcsap-fülke
79+736 Segélykérő fülke / Vészátjáró
79+746 Tűzcsap-fülke
79+846 Tűzcsap-fülke
79+886 Segélykérő fülke
79+946 Tűzcsap-fülke
80+030 Szellőző gépház
80+036 Segélykérő fülke / Vészátjáró
80+046 Tűzcsap-fülke
80+091.0 Építési mód váltás 80+088 Kisajátítás határa
80+110.0 Alagút vége 80+089 Szellőző fülke
80+122 Tűzcsap (a portál előtt)
80+697 Tűzcsap (a portál előtt)
80+710.0 Alagút eleje
80+732 Segélykérő fülke
80+770 Tűzcsap
80+812.0 Építési mód váltás 80+807 Bővített szelvény vége bal járatban
80+830 Kisajátítás határa
80+870 Tűzcsap
80+882 Segélykérő fülke
80+977 Bővített szelvény

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT