

Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar
Kőolaj és Földgáz Intézet
Olajmérnöki Intézeti Tanszék



**Geotermikus kút béléscső igénybevételeinek vizsgálata végeselem
módszerrel**

Tudományos Diákköri Dolgozat

Dianovszki András Márk

Olaj és gázmérnöki Szakirány, BSc részképzés

Konzulens: Dr. Szabó Tibor egyetemi docens

Miskolc 2013

TARTALOMJEGYZÉK

1.BEVEZETÉS	3
2. BÉLÉSCSÖVEK TÍPUSAI, CSOPORTOSÍTÁSUK.....	4
2.1. Béléscsövek osztályozása.....	4
2.1.1.Vezető béléscső (conductor string)	4
2.1.2. Felszíni béléscső (surface casing)	5
2.1.3.Közbenső vagy technikai béléscső (intermediate casing)	6
2.1.4.Termelési béléscső (production casing)	7
2.2. Beakasztott béléscső (liner).....	7
2.3. Gyártási technológiák.....	9
3.BÉLÉSCSŐ MÉRTEZÉSE UNLIMITED MÓDSZERREL	10
3.1. A feladat megoldása	11
4.A VÉGESELEM MÓDSZER ISMERTETÉSE	17
4.1. Példa a végelem vizsgálat eredményeinek igazolására kézi számítással.....	18
4.1.1.Az adatok betáplálása és az eredmény a SolidWorks 2012 végelem programban.....	19
4.1.2. A végelem vizsgálat és a kézi számítás eredményeinek összehasonlítása....	21
5. AZ UNLIMITED MÓDSZERREL MÉRTEZETT BÉLÉSCSŐ VÉGESELEM VIZSGÁLATA GEOTERMIKUS HŐMÉRSÉKLETI VISZONYOK KÖZÖTT	23
5.1. A végelem vizsgálat lépései.....	23
5.2. Végelem vizsgálat eredményei	28
6. A CEMENTPALÁST BÉLÉSCSŐRE GYAKOROLT SZILÁRDÍTÓ HATÁSÁNAK PONTOS MEGHATÁROZÁSA	28
6.1. A végelem vizsgálat lépései.....	29
6.2. A cementpalást pontosan meghatározott szilárdító hatása	32
7. TERVEK A TÉMA TOVÁBBFEJLESZTÉSÉRE	32
8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	34
9.FELHASZNÁLT IRODALOM	35
10.MELLÉKLETEK JEGYZÉKE	36

1.BEVEZETÉS

TDK dolgozatomban célja a Mélyfúrás alapjai I tantárgy keretein belül tanult Unlimited béléscső méretezéssel kiszámított béléscsövek vizsgálata végeelem módszerrel. A dolgozat első részében a béléscsövek jellemző típusait, méreteit, anyagminőségeit, szilárdsági értékeit foglaltam össze.

Az egyetemi előadáson tanult Unlimited méretezési módszert egy konkrét számpéldán levezetve mutattam be, amely a végeelem vizsgálat kiindulására szolgáltatja a keletkező nyomásokat, húzóterheléseket és csőminőségeket.

Az így kiszámított adatokat a SolidWorks 2012 végeelem programba tápláltam be, hogy a kiszámolt terhelésekkel meghatározzam a béléscsőben keletkező feszültség és nyúlás értékeit. A végeelem vizsgálatot elvégeztem geotermikus hőmérsékleti viszonyok között.

A dolgozat elkészítése közben figyeltem arra, hogy a cementpalást béléscsőre gyakorolt szilárdító hatásával a méretezési eljárások nem foglalkoznak. Ezért a már meglévő végeelem modellekben definiáltam a cementpalást geometriai és anyagminőségi jellemzőit, majd lefuttattam a már kiszámolt terhelésekkel a végeelem vizsgálatot. A vizsgálat pontos értékeit közlöm a cementpalást szilárdító hatásáról.

2. BÉLÉSCSÖVEK TÍPUSAI, CSOPORTOSÍTÁSUK

A mélyfúrással elkészített furatokba acél béléscsövet helyeznek, amelyet a szakaszfúrás befejezése után a lyukfal és a cső palástja között cementtel feltöltenek. A lyukfalon kialakult iszapleplenyt ha szükséges, az erre a célra alkalmas szerszámmal szabályozni kell. A cső beépítése közben - cementezés előtt - a cső és a lyukfal közötti távolságot a cső központosítása révén beállítják.

A csöveket különféle csőkötési eljárásokkal a cső végein egymáshoz rögzítik. A rögzítés lehet menetes, ragasztott, esetenként hegesztett kivitel. A béléscsövek beépítését a fúrótorony asztalán végzik és a fúrótorony felső részén elhelyezett csigasor segítségével süllyeszti, emelik, forgatják.

A termelő rétegit szakaszosan kell fúrni és szakaszonként béléscsövezni. A szakaszok alján a béléscsőszakaszt a saru zárja le. A saru mélységi helyzete szabja meg a béléscsőszakaszt hosszát és a béléscsőszakaszok számát (Dr. Árpási, 1991).

2.1. Béléscsövek osztályozása

Nem lehet a teljes mélységig egy átmérő mérettel fúrni, ezért több béléscső szakaszt különböztetünk meg.

2.1.1. Vezető béléscső (conductor string)

Célja a laza formáció alkotók beomlásának megakadályozása, a nyitott felszíni kis szilárdságú szakaszok elkülönítése. 30-50 méter mélységig terjedhet, csőfej szerelvényt nem építenek rá. Szilárdsági igénybevételre nem szükséges méretezni.

A vezető béléscső beépítésének az elsődleges célja a laza felszíni talajrétegek megóvása a fúróiszap okozta eróziótól.

A vezető béléscső funkciói:

- Elősegíti a béléscsőszakaszok központosítását
- Csökkenti a béléscsőszakaszokban keletkező rezonanciát és az aktuális terheléseket
- A felszíni rétegeknél az oxigén okozta korrózióval szemben védelmet nyújt
- A belsőbb csőszakaszokra az ültetésből és a forgó mozgásából adódó terheléseket minimalizálja

Cementpaláستtal kapcsolódik a következő béléscsőrákathoz annak érdekében, hogy megosszák a terhelést és minimalizálják az adódó feszültségeket. A vezető béléscsövet vibrációs rendszerrel is elhelyezhetik (Rabia H, 2001).

Az ültetési mélység általában sekély és úgy választják, hogy a fúróiszap képes legyen az iszaptartályokba visszajutni a következő lyukszakasz fúrása során. A béléscső saru egy impermeábilis megfelelően állékony (agyag) rétegbe kell hogy kerüljön. A vezető béléscső nagyméretű, általában 30” körüli átmérőjű (lásd 1.melléklet).

2.1.2. Felszíni béléscső (surface casing)

A felszín közeli édesvizek kizárását biztosítja. Csak természetes agyag iszappal lehet dolgozni (polimer tartalmú iszap nem használható). A sarut felszínig cementezik, kitörésgátlót és csőfejszerelvényt helyeznek a csőfejre. Az első 5-6 szálát ragasztják vagy hegesztik, azért hogy a saru átfúrásánál a menetes csőkötések le ne csavarodjanak. A felszíni béléscső 100-200 méter mélységig terjedhet, jellemző átmérője: 18 5/8” (lásd 1.melléklet).

A felszíni béléscsőrákat funkciói :

- Megakadályozza hogy a kevésbé szilárd sekély rétegek a kútba omoljanak
- Lehetővé teszi az öblítést
- Megakadályozza hogy a víztároló homok rétegek a fúróiszaptól elszennyeződjenek
- Sekély mélységekben adódó szénhidrogén gázok ellen védelmet biztosít
- Zárószelvény (kitörésgátló) rászírelhető
- Kútbeindulás ellen elfogadható védelmet biztosít

A béléscső saru mélysége impermeábilis formációba és víztároló rétegek alá kell hogy essen. Néhány esetben azonban a felszín közeli sódert vagy sekély gázréteget már hamarabb ki kell zárni béléscsővezéssel. A saru mélységnek elegendőnek kell lennie, hogy elégséges repesztési gradienst adjon a következő béléscső ültetési mélységéig történő fúráshoz, valamint biztosítania kell, hogy nem következik be kitörés a kitörésgátló lezárása esetén.

Kemény kőzetekben viszonylag sekély is lehet az ültetési mélység, de lágy kőzet esetén nagyobb mélység szükséges (Rabia H, 2001).

2.1.3.Közbenső vagy technikai bélésű (intermediate casing)

Nagyon hosszú nyitott szakasz esetén építik be. A cementpalást a legfelső gáztároló réteg felett legalább 100 méterrel feljebb helyezkedjen el. Jellemző átmérője: 9 5/8" (lásd 1.melléklet).

A közbenső biztonsági bélésű elsődleges célja, hogy a normális nyomású formációkat megvédje a mélyebb lyukszakasz mélyítésénél használt nehezített iszap hatásaitól.

Elkülöníti a formációkat és biztosítja a kellő kitörésvédelmet az ezt követő mélyebb fúrási szakasznál, ahol adódhatnak fúrási problémák. A bélésű ültetési mélységét az alapján választják, hogy gázdugó belépés közben a sarunál kialakuló nyomás ne érje el a repesztési nyomás értékét és hogy elkülönítsék a különböző nyomású és tároló képességű rétegeket. A szabályoknak megfelelően minimum 100 méterrel az előző bélésű saru fölé kell cementezni. Minél hosszabb a cementoszlop, annál jobban óvja a csőkapcsolatokat. A cementnek ki kell zárni minden szénhidrogén gáz vagy más rétegfluidumot tartalmazó réteget. A korrozív rétegvizet tartalmazó formációkat is cementréteggel kell kizárni, főleg ott, ahol aquifer mozgás valószínű, ami újratöltheti a lyukfal körüli korrozív elemeket. Nyilvánvalóan közbenső bélésűvet kell elhelyezni oda, ahol a lyukbeindulás veszélye áll fenn, amely az előző csősaru felrepedését okozhatja, és/vagy iszapvesztést okozhat a nyitott lyukszakaszban. Ennél fogva a közbenső bélésű sarut majdnem mindig olyan átmeneti zónák fölé helyezik, ahol jelentős túlnyomás várható. Közbenső bélésű szakasz elhelyezése a fúrási problémák elkerülése céljából történik azért, hogy a várható mechanikai rétegnehézségeket okozó formációkat elkülönítse (pl. duzzadó agyagok, pergő márga, nagy permeabilitású homok rétegek).

A közbenső biztonsági bélésű ültetési mélységének meghatározásához Magyarországon a korlátlan beáramlás módszerét alkalmazzák.

Ha a fúrólyukban kialakuló belső nyomás eléri a repesztési nyomás gradiens értékét, a folyamat kitöréshez vezethet.

Az iszaposzlop nyomása és a formáció nyomás közötti különbség növekedésével nő a differenciális megszorulás veszélye.

Szükségessé válhat a közbenső bélésű ültetési mélységének megváltoztatása a fúrás során az alábbi körülmények esetén:

- További fúrást megakadályozó lyukproblémák
- A tényleges rétegnyomás a várttól fentebb vagy lejjebb jelentkezik, mint ahogy eredetileg számolták vagy várták (Rabia H, 2001).

2.1.4. Termelési bélésű (production casing)

A célrétegig vagy az alá terjed. Jellemző átmérője: 4 ½”, 5” vagy 7” (lásd 1.melléklet).

A termelési bélésű célja a termelő rétegek elkülönítése, megkönnyíti az elsődleges rezervoár elérését és megakadályozza a nem kívánt fluidumok beáramlását.

A kiképzési és termelési módszereknek megfelelően választják ki a termelési bélésű méretét. Tervezésénél figyelembe kell venni a következő tényezőket:

- A kút várható hozamát
- A termelőcső méretét
- A kútkiképzést
- A termelőcsövön át végzett kútmunkálatok geometriai igényeit
- A lehetséges kútjavítás és kútindítás szükségességét

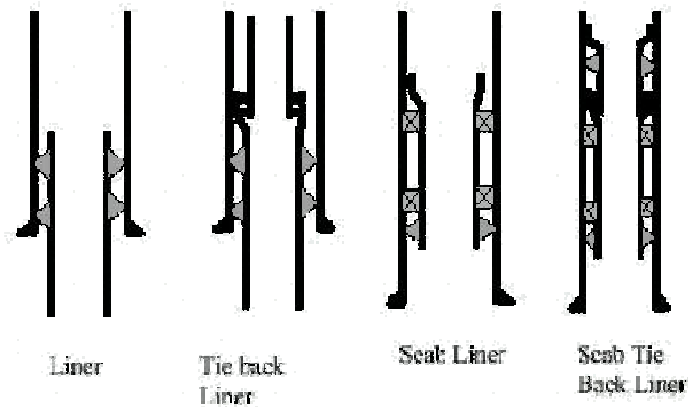
Figyelembe kell venni továbbá a termelés során fellépő hőmérséklet és nyomásváltozásokból adódó járulékos igénybevételeket is.

Akár termelési bélésűről, akár linerről van szó, a mélységet a geológiai cél határozza meg (Rabia H, 2001).

2.2. Beakasztott bélésű (liner)

A beakasztott bélésű - liner- fajtái (lásd 1.ábra):

- Fúrasi liner (drilling liner)
- Termelő liner (production liner)
- Feltoldó liner (tie-back liner)
- Scab liner csősérülés esetén



1.ábra: Liner típusok

(Forrás: Hussain Rabia (2001): Well Engineering & Construction)

A betétcsövet (liner) az előző béléscső saru fölé az előző béléscsőbe akasztják és teljes hosszába cementezik, hogy biztosítsák a rétegek és az akasztó tető megfelelő zárását.

Fúrési liner beépítésének lehetséges okai:

- Megnöveljék a saru erősségét
- Minimalizálják a csökkentett gyűrűstéri keresztmetszetet

Az ültetési mélység a fúrési feltételek függvénye. Az aktuális ültetési mélységet a formációnyomás és a kútbeindulás lehetősége határozza meg.

Termelési liner beépítésének lehetséges okai:

- Csökkentsék a költségeket
- A fúróberendezés horogterhelését csökkentsék mély kutak esetén

A liner utólagosan is a felszínig toldható azáltal, hogy feltoldó eszközt (tie-back) alkalmaznak.

A mélykutaknál teljes csőoszlop ültetésével szemben gazdaságosabb a fúrési liner használata. A döntést jól át kell gondolni, mert liner használata esetén a liner mélységében fellépő túlnyomást a központi béléscsőoszlopnak kell viselnie. Ha a fúrást a liner alatt is folytatni kívánják, akkor az előző béléscsőoszlopra nehezedő túlnyomás is tovább növekszik, ami ennek a béléscsőnek a drágulását eredményezi.

Cementezés:

A béléscsőben nagy nyomással nyomják le a cementtejet, alsó és felső dugók felhasználásával (közöttük helyezkedik el a szükséges mennyiségű cement). Az alsó dugó biztosítja, hogy ne keveredjen a beton a fúróiszappal, a felső dugó a csőből teljesen eltávolítja a cementtejet. A cement megszilárdulása után a dugókat kifúrják

2.3. Gyártási technológiák

A béléscsövek meleghengerléssel, utólagos hidegalakítással készülnek, de léteznek hegesztett kivitelűek is.

A béléscsövek nagy igénybevétele miatt a cső anyaga főként szénacél, illetve ötvöztött acél. Minden anyagfajtára jellemző, hogy alacsony a P és az S tartalom, maximális értéke 0,01 és 0,03 % között változik. A két szennyező alacsony értéken tartásával biztonságosan tarthatók a típusokra meghatározott szilárdsági értékek.

A C tartalom maximum 0,5 %, aminek a szilárdsági értékeken túl a keménység beállításában van szerepe. A béléscsövek keménysége: 22-25,4 HRC.

Az egyes típusoknál (pl.: L80, C90, T95) a Cr, a Mo és a Ni szerepel ötvözőként (maximum 0,1%-ban). A H40, J55, K55 és az N80 nem tartalmaz mikroötvözőket.

A megfelelő nyúlást különféle előkezeléssel biztosítják a maximális 0.5%-os értékre. A nyúlás a szilárdsági értékek növekedésével csökken pl. J55-nél 15-23%, K55-nél 12-20%, Q125-nél 9-14%.

Fontos a kémiai ellenállóképesség: a savas közeget kerülni kell, mert károsítja a béléscsövet ezért az iszap pH értékét lúgos kémhatásúra állítják be (API: S5CT).

Bélészső hosszmeretei és minősége:

Osztály:	Hossz (ft):	Átlagos hossz (ft):
1	16-25	22
2	25-34	31
3	hosszabb mint 34	42

Anyagminőség/folyáshatár :

H40, J55, K55, N80, L80, C90, C95, P110, Q125: A betűjel az anyagminőségre utal, a számok a folyáshatárt jelzik 1000 psi-ben. A szakítószilárdság táblázatokban fel van tüntetve (API:S5CT).

Legfontosabb béléscső jellemzők:

- Folyáshatár
- Összeroppantó igénybevétellel szembeni ellenállás
- Belső nyomással szembeni ellenállás
- Húzó-nyomó szilárdság
- Méretek (külső átmérő, falvastagság)

Néhány menettípus:

- Api rövid menet
- API hosszú menet
- Butress
- Extreme line

3.BÉLÉSCSŐ MÉRETEZÉSE UNLIMITED MÓDSZERREL

Az unlimited béléscső méretezési módszert, a Mélyfúrás alapjai tantárgy gyakorlati óráján előadott példából (2.melléklet) vett és konzulensem által meghatározott egyéb kiinduló adatokat tartalmazó példán keresztül mutatom be. Feladat: a 7” -os béléscső méretezése Unlimited módszerrel (lásd 1.melléklet).

Adatok (2.melléklet alapján):

Teljes kút mélység (TVD): 2500 m

Saru mélységek: lásd 1. melléklet

Iszap sűrűség: 1100 kg/m^3

Rétegnyomás gradiens: $0,1086 \text{ bar/m}$

Betörő nyomás gradiens: $0,02262 \text{ bar/m}$

Geotermikus hőmérséklet gradiens: $5^{\circ}\text{C}/100 \text{ m}$

Biztonsági tényezők: Burst (belső nyomás)= 1,25

Collapse (külső nyomás)= 1

Tension (húzás)= 1,8

Rendelkezésre álló (D= 7") API minősítésű béléscsővek:

1.táblázat: Béléscsővek Collapse és Burst ellenállása
(3.melléklet alapján)

Minőség Folyó méter súly lb/ft (kg/m)	Falvastagság (mm)	Collapse ellenállás (bar)	Burst ellenállás (bar)
J55 22,65(33,71)	0,317	225	300
K55 22,65 (33,71)	0,317	225	300
N80 22,65 (33,71)	0,317	264	437
K55 25,69 (38,23)	0,362	298	343
J55 19,56(29,1)	0,272	156	257

3.1. A feladat megoldása

Külső nyomás (Collapse):

$$P_{c1880} = 1,1 \text{ kg/l} * 1880 \text{ m} * 0,0981 = 203 \text{ bar}$$

$$P_{c2500} = 1,1 \text{ kg/l} * 2500 \text{ m} * 0,0981 = 270 \text{ bar}$$

Belső túlnyomás (Burst) :

Formáció nyomás:

$$F_p = 2500 \text{ m} * 0,1086 \text{ bar/m} = 272 \text{ bar}$$

Belső nyomás:

$$P_{b1880} = 272 \text{ bar} - (2500 \text{ m} - 1880 \text{ m}) * 0,02262 \text{ bar/m} = 258 \text{ bar}$$

$$P_{bfelső} = 272 \text{ bar} - 2500 \text{ m} * 0,02262 \text{ bar/m} = 216 \text{ bar}$$

Belső túlnyomás:

$$P_{burst1880} = P_{b1880} - P_{c1880} = 258 \text{ bar} - 203 \text{ bar} = 55 \text{ bar}$$

$$P_{\text{burstfelszín}} = P_{\text{bfelszín}} - P_{\text{cfelszín}} = 216 \text{ bar} - 0 \text{ bar} = 216 \text{ bar}$$

A Burst biztonsági tényező miatt a béléscsövek Burst ellenállás értékeit el kell osztani az 1,25 biztonsági tényezővel (lásd 2.táblázat).

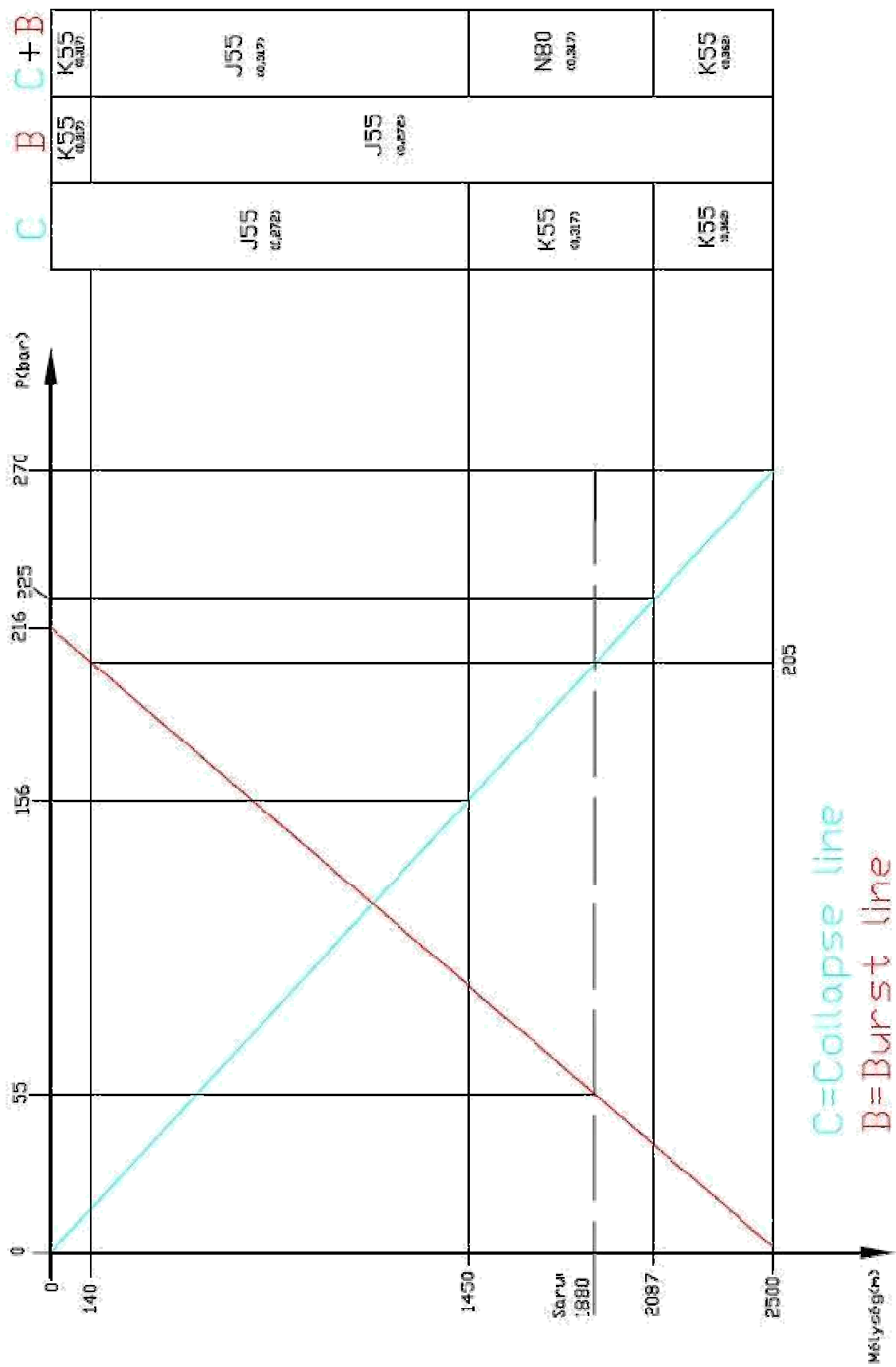
2.táblázat: Béléscsövek Burst ellenállása
(1.táblázat alapján)

Minőség	Falvastagság (mm)	Burst ellenállás (bar)	Burst ellenállás / 1,25 (bar)
K55	0,317	300	240
J55	0,317	300	240
N80	0,317	437	349
K55	0,362	343	274
J55	0,272	257	205

A grafikonban a Collapse ellenállások értékei az 1.táblázat szerint vannak felvéve, mert a Collapse biztonsági tényező 1. A Burst ellenállások a 2.táblázatban szereplő 1,25 – ös biztonsági tényezővel osztott értékek. A grafikus módszer célja az adott csőminőséghez tartozó maximális mélység meghatározása (lásd 2.ábra).

A grafikon Collapse oszlopában 140m-től 1450m-ig J55-ös 0,272 falvastagságú cső van, az ehhez tartozó érték maximális Collapse érték 156 bar. A Collapse+Burst oszlopában 140m-től 1450m-ig J55 –ös 0,317 in falvastagságú cső van. Azonban ennek a szabványos csőtípusnak a Collapse ellenállása 225 bar. A cső falvastagságának növelésére azért volt szükség, mert a J55 –ös 0,272 in falvastagságú 156 bar Collapse ellenállású cső a feladat megoldását követően húzásra és kéttengelyű igénybevételre nem felelt meg. Ezért a végeredményben a J55 0,272 in falvastagságú béléscső helyén eggyel nagyobb falvastagságú; 0,317 in J55 –ös béléscső van.

A kiszámolt nyomásokkal megszerkeszthető a Collapse és Burst egyenes (lásd 2. ábra).



2.ábra: Unlimited méretezés megoldása grafikus módszerrel
 (Szerző saját szerkesztése 1.melléklet és az 1. és 2.táblázat alapján)

Méretezés húzásra (Tension):

Csőszakatok tömegének meghatározása:

A csőszakatok tömegének meghatározásához a csőszakatok hosszának és folyó-méter tömegének szorzatát meg kell szorozni egy BF felhajtóerő tényezővel (lásd 3.táblázat).

$$BF = 1 - \frac{\delta_{iszap}}{\delta_{acél}} = 1 - \frac{1100 \text{ kg/m}^3}{7800 \text{ kg/m}^3} = 0.86 \quad \text{ahol: } \delta = \text{sűrűség (kg/m}^3\text{)}$$

3. táblázat: Csőszakatok tömege

(3. melléklet alapján)

Minőség, falvastagság (in)	Folyóméter tömeg (kg/m)	Csőszakatok hossza(m)	Csőszakatok tömege (kg)	Ténylegesen viselt tömeg (kg)
K55 0,317	33,71	140 – 0 = 140	4058,68	74081,9
J55 0,317	33,71	1450 – 140 = 1310	37977,68	70023,22
N80 0,317	33,71	2087 - 1450 = 637	18467,01	32045,54
K55 0,362	38,23	2500 – 2087 = 413	13578,53	13578,53

A ténylegesen viselt tömeg a földfelszíntől 2500m mélységig a csőszakatok tömegének halmozott összegéből adódik. A húzóterhelés a földfelszínen a maximális, mivel ezt a csőszakaszt terheli az alatta lévő csőszakatok összegének tömege.

A biztonsági tényező meghatározása (Safety factor; SF):

A biztonsági tényező meghatározásához a ténylegesen viselt tömegből (kg) meg kell határozni a ténylegesen viselt súlyt (KN). A biztonsági tényező meghatározásához szükség van az adott minőségű csőtestek maximálisan megengedett húzóterhelésének ismeretére (lásd 4.táblázat).

4.táblázat: Béléscsövek húzóterhelései

(3.táblázat és 3.melléklet alapján)

Minőség, falvastagság (in)	Ténylegesen viselt súly (KN)	Megengedett max. húzóterhelés (KN)
K55 0,317	726,7	1628
J55 0,317	686,9	1628
N80 0,317	314,4	2366
K55 0,362	133,2	1846

Biztonsági tényező (Safety factor; SF) = $\frac{\text{Megengedett maximális húzóterhelés}}{\text{ténylegesen viselt súly}}$ (lásd 5.táblázat)

5. táblázat: Béléscsövek biztonsági tényezőinek értékei
(4.táblázat alapján)

Minőség, falvastagság (in)	Biztonsági tényező (Safety factor; SF)
K55 0,317	2,24
J55 0,317	2,37
N80 0,317	7,52
K55 0,362	13,85

A biztonsági tényezők értékei minden csőtípusra nagyobbak, mint 1,8 így a béléscsövek tisztán a húzási igénybevételnek megfelelnek.

Méretezés kéttengelyű igénybevételre (Biaxial effects):

A húzási arányszám meghatározása:

Húzási arányszám (tensile ratio) = $\frac{\text{ténylegesen viselt súly (weight carried)}}{\text{folyáshatár (yield strength)}} = \frac{1}{SF}$ (lásd 6.táblázat)

6.táblázat: Béléscsövek húzási arányszámai
(5.táblázat alapján)

Minőség, falvastagság (in)	Húzási arányszám (tensile ratio)
K55 0,317	0,45
J55 0,317	0,42
N80 0,317	0,13
K55 0,362	0,07

A 2. melléklet kéttengelyű igénybevételre érvényes táblázata alapján a kiszámolt, húzási arányszámokhoz tartozó visszamaradó Collapse ellenállás (lásd 7.táblázat).

7.táblázat: Béléscsövek gyengítő Collapse ellenállásának kiszámítása

(6.táblázat és 2. melléklet alapján)

Minőség, falvastagság (in)	Húzási arányszám (tensile ratio)	Felső érték (%)	Alsó érték (%)	Arányszámmal kerekített különbség (%)	Gyengítő Collapse ellenállás (%)
K55 0,317	0,45	76	65	5,5	70,5
J55 0,317	0,42	76	65	2,2	73,8
N80 0,317	0,13	94,5	88,5	1,8	92,7
K55 0,362	0,07	100	94,5	3,85	96,15

A szabványos Collapse ellenállás értékeit a gyengítő Collapse értékeivel csökkentve jelennek meg (lásd 8. táblázat).

8.táblázat: Béléscsövek gyengített Collapse ellenállásai

(7.táblázat és 2.ábra alapján)

Minőség, falvastagság (in)	Collapse ellenállás (bar)	Gyengítő Collapse ellenállás (%)	Gyengített Collapse ellenállás (bar)	Külső nyomás (adott mélységben) (bar)	Biztonság
K55 0,317	225	70,5	158	14,42 (140m)	11,02
J55 0,317	225	73,8	166	149,36 (1450m)	1,11
N80 0,317	264	92,7	244	214,97 (2087m)	1,14
K55 0,362	298	96,15	287	257,51 (2500m)	1,11

A béléscsövek táblázatos Collapse értékeit a kiszámolt gyengítő Collapse ellenállás százalékos értékével csökkenteni szükséges, majd ha a kiszámolt csökkentett érték nagyobb, mint az adott mélységben lévő külső nyomás, a béléscsöveket kéttengelyű igénybevételeknek megfelel. Ez jelen példában teljesül.

4.A VÉGESELEM MÓDSZER ISMERTETÉSE

A végeselem módszer (FEM-Finite Element Method) az utóbbi évtizedek egyik leglátványosabban terjedő, nagy hatékonyságú számítástechnikai módszere. A mérnöki

tervező munkában hatékonyságára való tekintettel kitüntetett szerepet vívott ki. A számítástechnikában beálló gyors fejlődés, a számítógépek kapacitásának, sebességének nagymértékű növekedése, a grafikai műveletek megszervezhetősége, az ember-gép kapcsolatának humanizálódása, a fizikai jelenségek korábbi években még nem látott bonyolultságú modellezésére, gyors kiszámításokra, az eredmények sokoldalú analizálására adnak módot (Dr. Péczeli és társai, 2007).

Numerikus módszer parciális differenciálegyenletek közelítő megoldására. A végeselem módszert használjuk pl. egy bonyolult alakú statikusan terhelt gépalkatrész feszültségének és alakváltozásának meghatározása. Ebben az esetben a lemodellezett alkatrészt véges számú elemre bontják. Síkbeli problémáknál például háromszögekre vagy négyszögekre, térbeli esetben esetleg hasábokra vagy tetraéderekre. A csomópontokon az elemekre ható erők és a csomópontok elmozdulása között a Hooke-törvényt követő anyag esetén lineáris összefüggés van, ezekből összeállítható az elemek merevségi mátrixa. Az elemek merevségi mátrixaiból megszerkeszthető az egész feladat merevségi mátrixa. A feladat ebben a fázisban az alábbi egyenlet megoldására redukálódik:

$$\vec{K}\vec{u} = \vec{F},$$

ahol:

$\vec{u}$ az m elemű elmozdulásvektor

$\vec{F}$ az m x m elemű terhelésvektor

$\vec{K}$ egy m elemű szimmetrikus mátrix, a rendszer merevségi mátrixa

$m = nk$ a rendszer csomópontjainak (n) és a csomópontok szabadságfokainak (k) szorzata

Az egyenletrendszer megoldásával kiszámítható az egyes csomópontok elmozdulása, majd az elmozdulásokból a csomóponti erők és a közelítő mechanikai feszültségek (Dr. Péczeli és társai, 2007).

TDK dolgozatomban a béléscső végeselem modellezéséhez a SolidWorks 2012 tervező és végeselem programot használtam.

4.1. Példa a végeelem vizsgálat eredményeinek igazolására kézi számítással

Az unlimited módszerrel végzett bélésű mérés szerint, a J55-ös minőségű 0,317 in falvastagságú bélésű csövet 686,9 KN húzó terhelés terheli (lásd 4.táblázat).

Feladat: A J55-ös bélésű csőben a húzó erő hatására ébredő feszültség és a csőben keletkező nyúlás meghatározása.

Adatok:

$$D = 7'' = 177,8 \text{ mm}$$

$$s = 0,317 = 8,051 \text{ mm}$$

$$F = 686,9 \text{ KN} = 686900 \text{ N}$$

Anyag: J55

A bélésű cső keresztmetszetének számítása:

$$d = D - 2 * s = 177,8 \text{ mm} - 2 * 8,051 \text{ mm} = 161,698 \text{ mm}$$

ahol: D = külső átmérő (mm)

s = falvastagság (mm)

$$A = \frac{(D^2 - d^2)\pi}{4} = \frac{(177,8^2 - 161,698^2)\pi}{4} = 4293,455 \text{ mm}^2$$

ahol: A = keresztmetszet (mm^2)

d = belső átmérő (mm)

Tiszta húzásra ébredő feszültség a bélésű csőben:

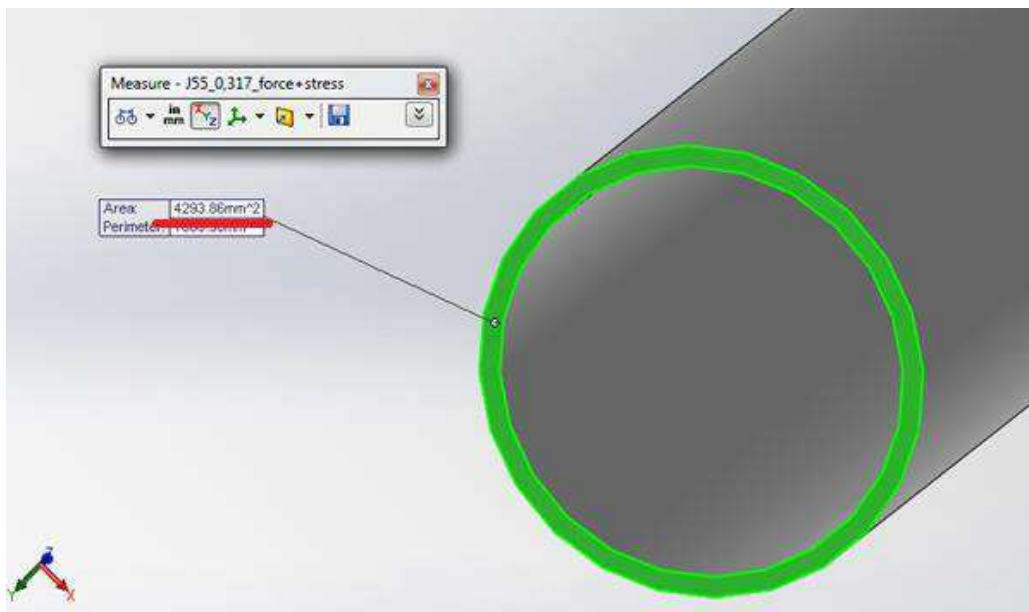
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{686900 \text{ N}}{4293,455 \text{ mm}^2} = 159,98 = \underline{\underline{160 \text{ MPa}}}$$

ahol: F = húzóerő (N)

σ = bélésű csőben ébredő feszültség (MPa)

4.1.1. Az adatok betáplálása és az eredmény a SolidWorks 2012 végelem programban

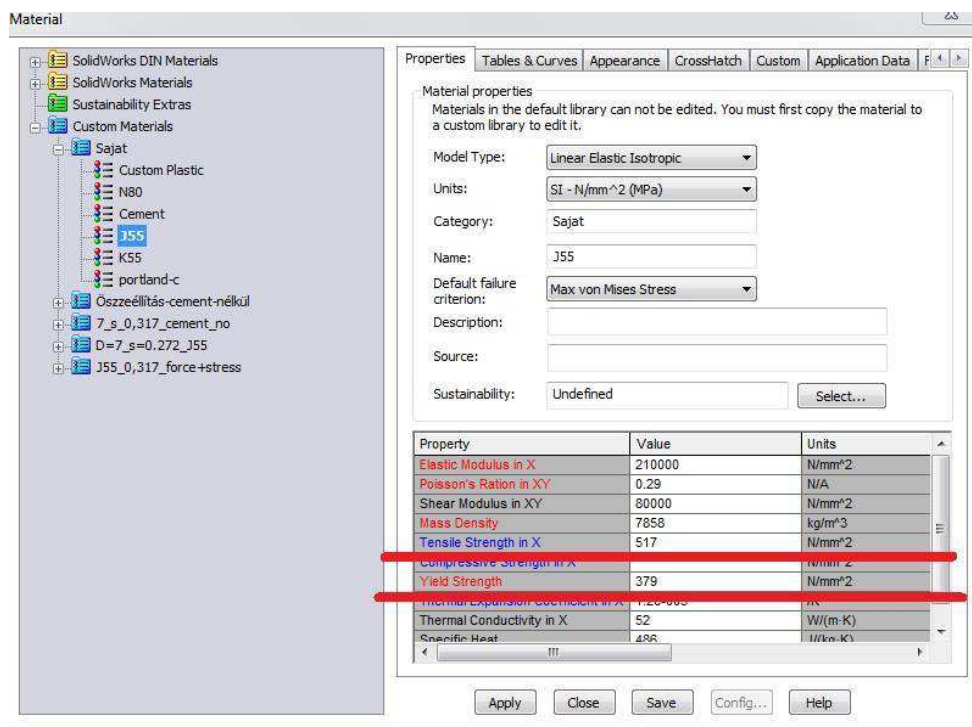
1. A geometria meghatározása Létrejött a 4293 mm^2 keresztmetszetű (lásd 3.ábra).



3.ábra: A D= 7” –os, 0,317 in falvastagságú béléscső

(Szerző saját szerkesztése a 18. oldalon szereplő adatok alapján)

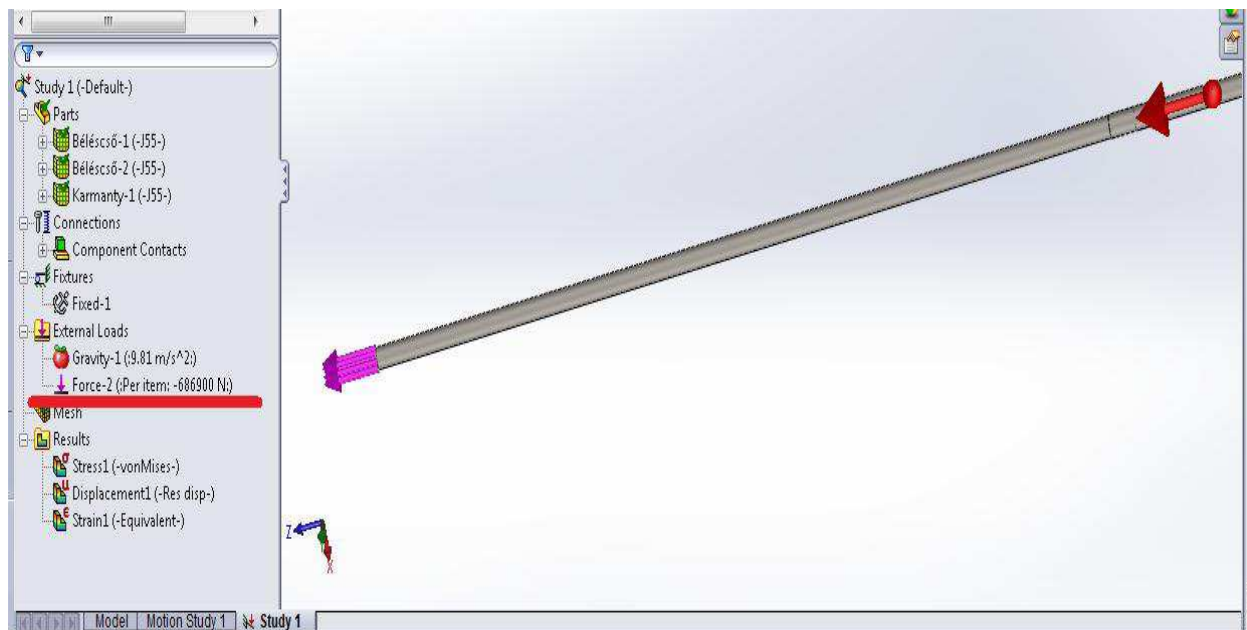
2. Az API szabvány (4.melléklet) szerinti J55-ös csőminőségnek megfelelő anyagjellemzőket megadtam (lásd 4.ábra).



4.ábra: A J55-ös anyagminőség beállítása

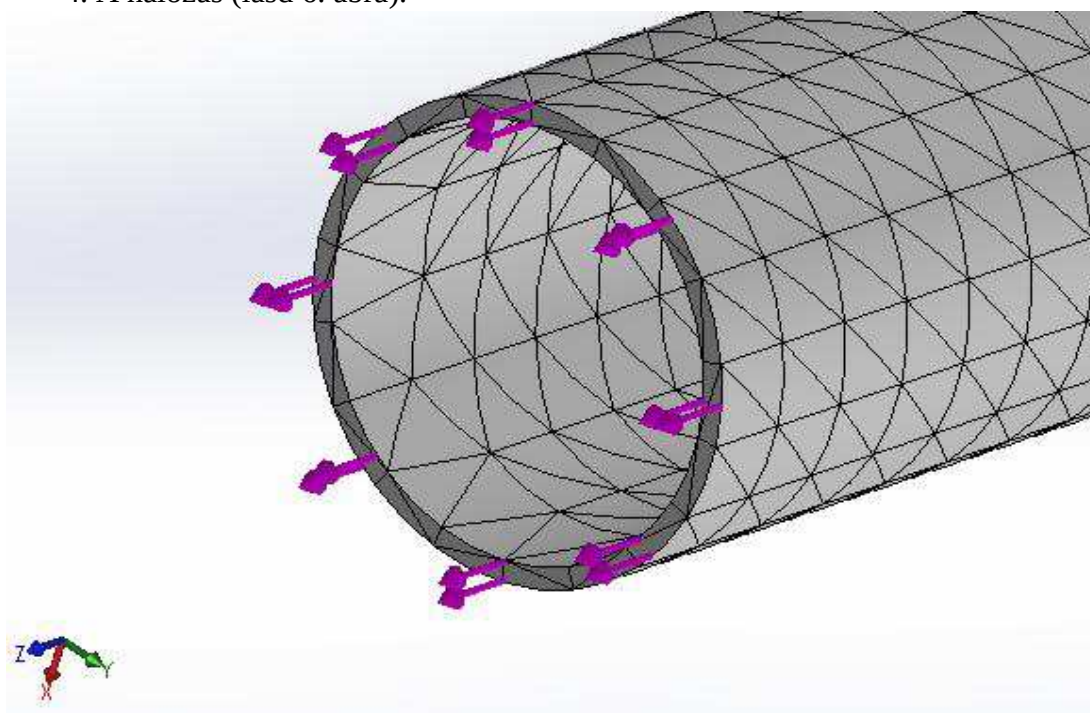
(Szerző saját szerkesztése 4.melléklet alapján)

3. Meghatároztam a gravitáció (Gravity-1) irányát függőleges kútat feltételezve, elhanyagolható ferdeséggel. A keresztmetszetre merőlegesen felvettem a 686,9 kN (Force-2) húzóerőt (lásd 5.ábra).



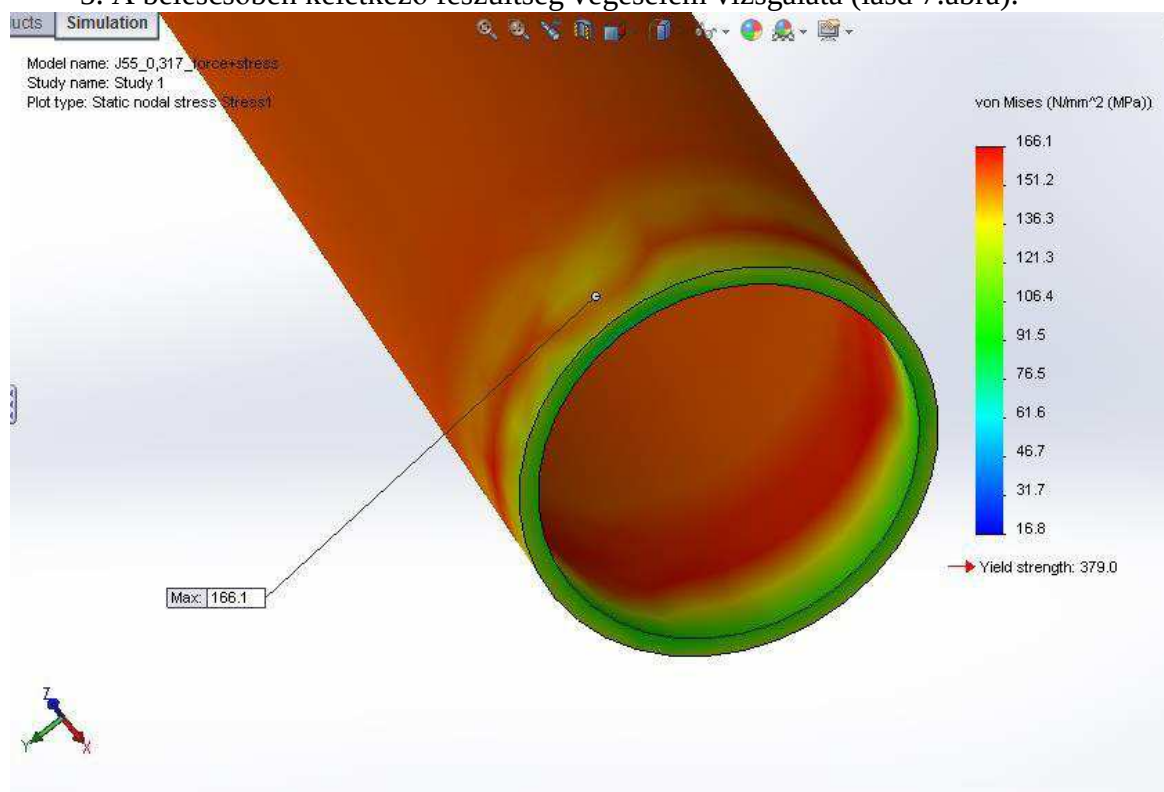
5.ábra: A gravitáció és a húzóerő meghatározása
(Szerző saját szerkesztése 4.táblázat alapján)

4. A hálózás (lásd 6. ábra).



6. ábra: A béléscső hálózott modellje
(Szerző saját szerkesztése 3.ábra alapján)

5. A béléscsőben keletkező feszültség végelem vizsgálata (lásd 7.ábra).



7.ábra: A végelem vizsgálat eredménye
(Szerző saját szerkesztése 3.,4.,5.,6.ábra alapján)

4.1.2. A végelem vizsgálat és a kézi számítás eredményeinek összehasonlítása

A béléscsőben tisztán húzóterhelés hatására keletkező feszültség meghatározásánál a kézi számítás és a végelem vizsgálat eredményei közel megegyeznek. Végelem vizsgálat eredménye; **$\sigma_1 = 166,1 \text{ MPa}$** , a kézi számítás eredménye; **$\sigma = 160 \text{ MPa}$** .

Béléscső nyúlásának meghatározása:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{160 \text{ MPa}}{210.000 \text{ MPa}} = 0,00076$$

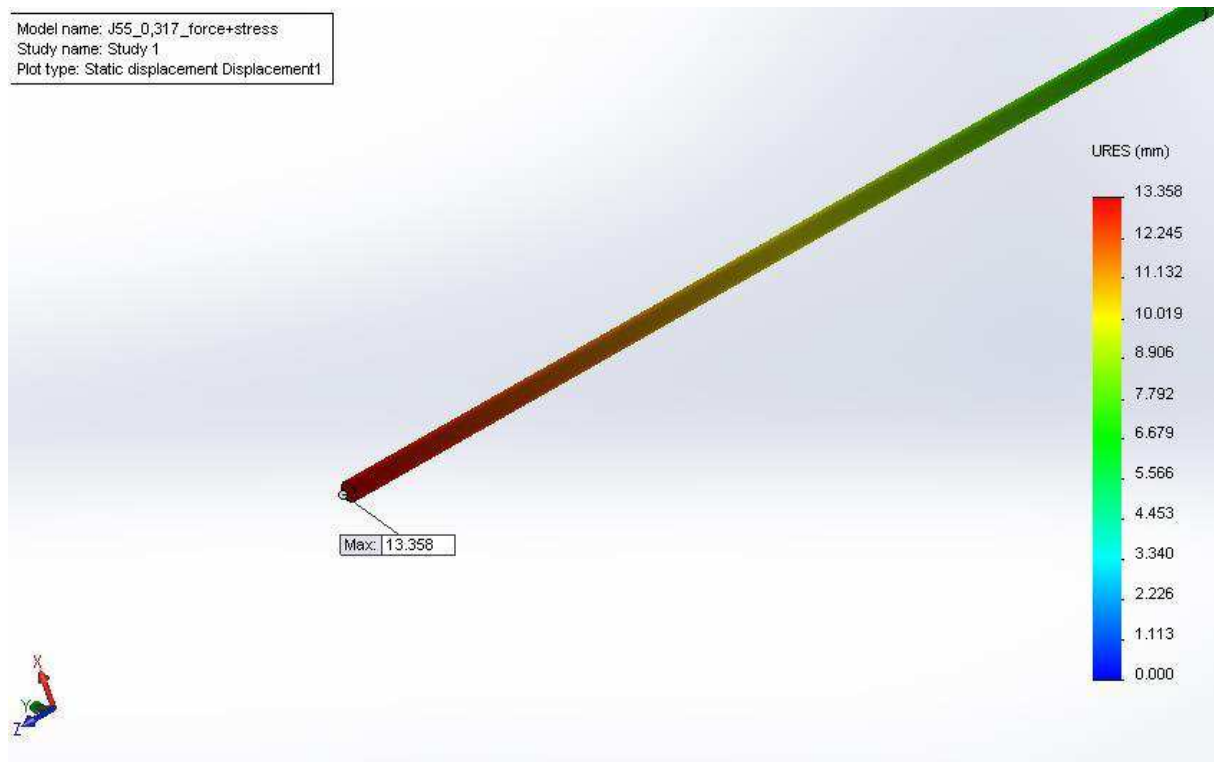
ahol: E = béléscső rugalmassági modulusa (MPa) ϵ
= fajlagos nyúlás

$$\epsilon = \frac{l-l_0}{l_0}$$

$$l-l_0 = \epsilon * l_0 = 0,00076 * 18000 \text{ mm} = \underline{\underline{13,68 \text{ mm}}}$$

ahol: l = megnyúlt hossz (mm) l_0 =
eredeti hossz (mm)

6. Végeselem vizsgálat a nyúlás meghatározása érdekében (lásd 8. ábra).



8.ábra: A nyúlás meghatározása
(Szerző saját szerkesztése a 7. ábra alapján)

A végeselem vizsgálattal a J55-ös 0,317 in falvastagságú béléscsőben 686,9 KN húzóerő hatására 13,358 mm nyúlás keletkezik. Az eredmény elfogadható, mert az API szabvány szerint (4. melléklet) a J55-ös minőségű béléscső maximálisan megengedett nyúlása 0,5 %. Modellemben két 9000 mm hosszú béléscső van egy karmantyúval összeszerelve, ezek maximálisan megengedett nyúlása 45 mm lehet a szabvány szerint.

A béléscsőben tisztán húzóterhelés hatására létrejövő nyúlás meghatározásánál a kézi számítás és a végeselem vizsgálat eredményei közel megegyeznek. Végeselem vizsgálat eredménye; **13,358 mm** , kézi számítás eredménye; **13,68 mm**. Kijelenthető tehát, hogy a végeselem vizsgálat eredményei igazolhatóak kézi számításokkal is.

5. AZ UNLIMITED MÓDSZERREL MÉRETEZETT BÉLÉSCSŐ VÉGESELEM VIZSGÁLATA GEOTERMIKUS HŐMÉRSÉKLETI VISZONYOK KÖZÖTT

Az unlimited módszerrel méretezett 0,362 in falvastagságú, 7” átmérőjű béléscsövet vizsgáltam végeelem módszerrel 2087 m mélységben.

Adatok:

$P_{\text{Collapse}} = 225,4 \text{ bar}$ (2.ábra alapján)

$P_{\text{burst}} = 37,3 \text{ bar}$ (2.ábra alapján)

$F_{\text{húzó}} = 133,2 \text{ KN}$ (4.táblázat alapján)

Hőmérsékleti gradiens = $5^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$ (Konzulensem által megadott érték)

Áramló folyadék hőmérséklete : 70°C (Konzulensem által megadott érték)

Anyag: K55 (4.táblázat alapján)

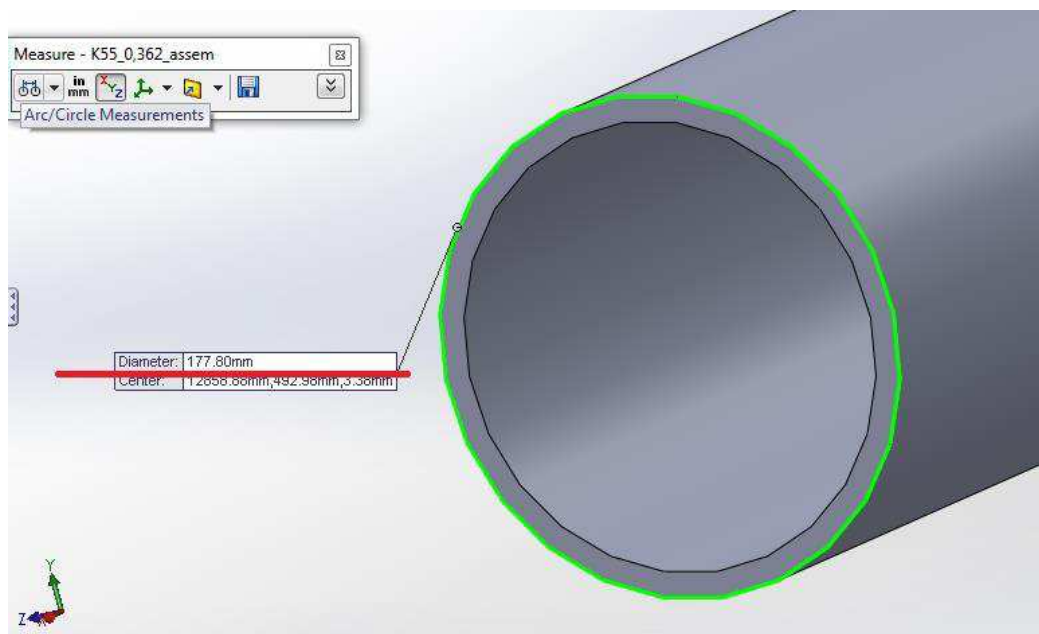
5.1. A végeelem vizsgálat lépései

1. Az adott geometriai méretekkel lemodelleztem a béléscsövet (lásd 9. és 10. ábra).

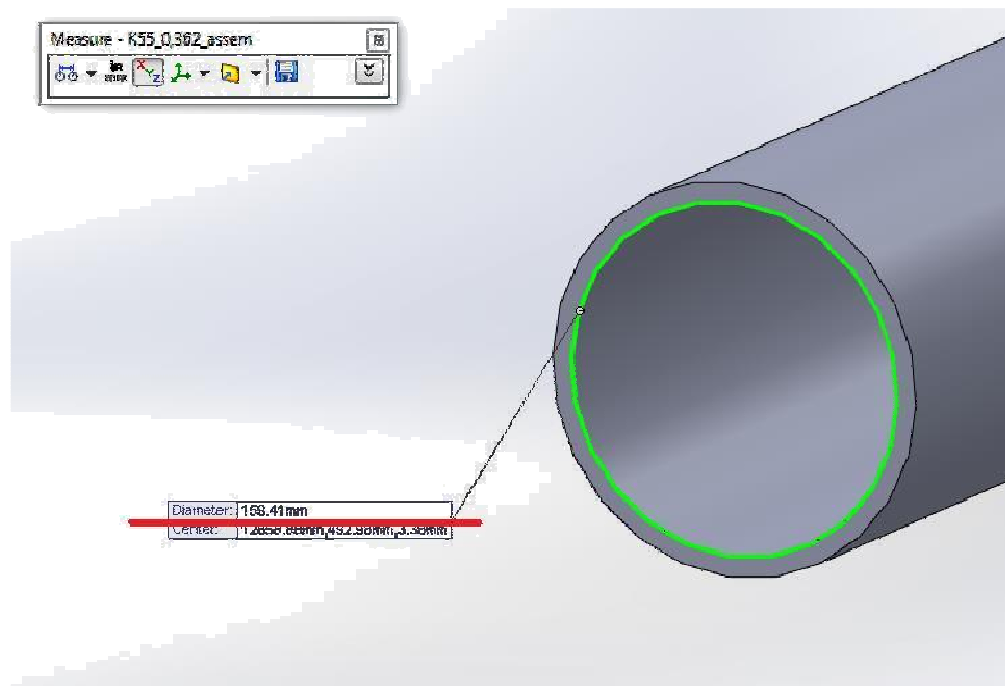
$D = 7'' = 177,8 \text{ mm}$

$s = 0,362 \text{ in} = 9,19 \text{ mm}$

$d = D - 2 * s = 159,41 \text{ mm}$

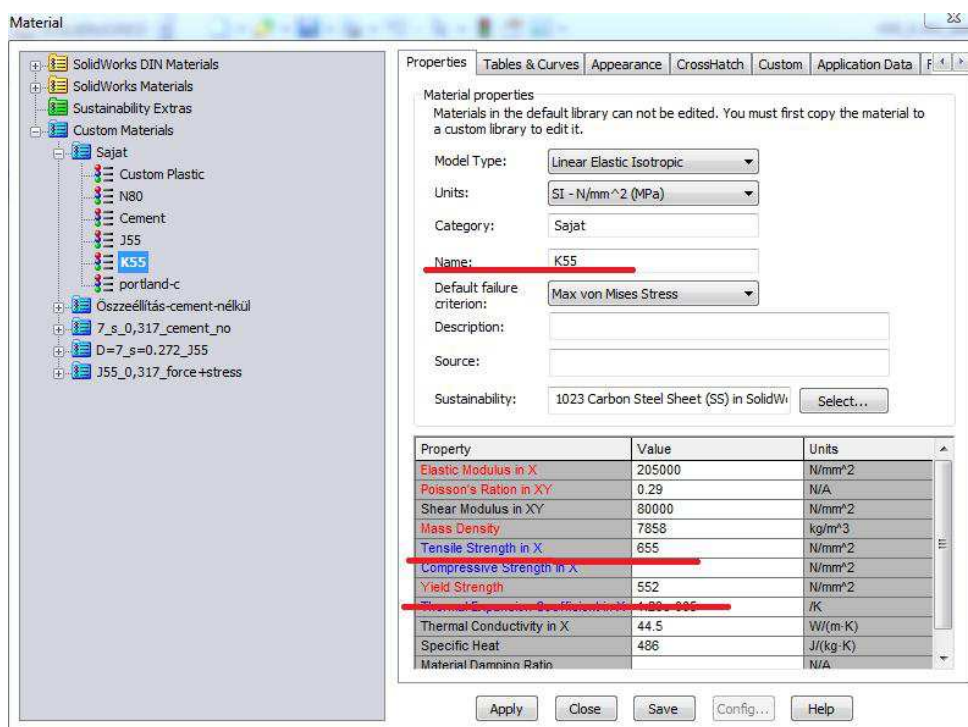


9.ábra: A $D=7''$ átmérőjű, 0,362 in falvastagságú béléscső modellje
(Szerző saját szerkesztése 3.melléklet alapján)



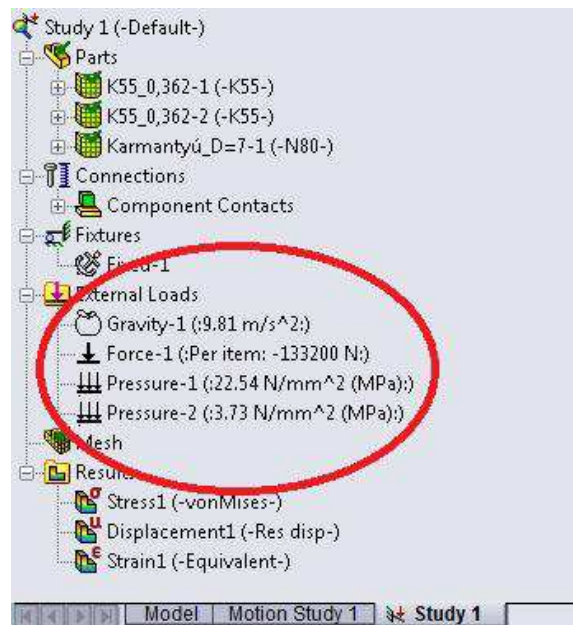
10.ábra: A D = 7" átmérőjű, 0,362 in falvastagságú béléscső modellje
(Szerző saját szerkesztése 3.melléklet alapján)

2. Meghatároztam a K55-ös anyagminőséget (lásd 11.ábra).



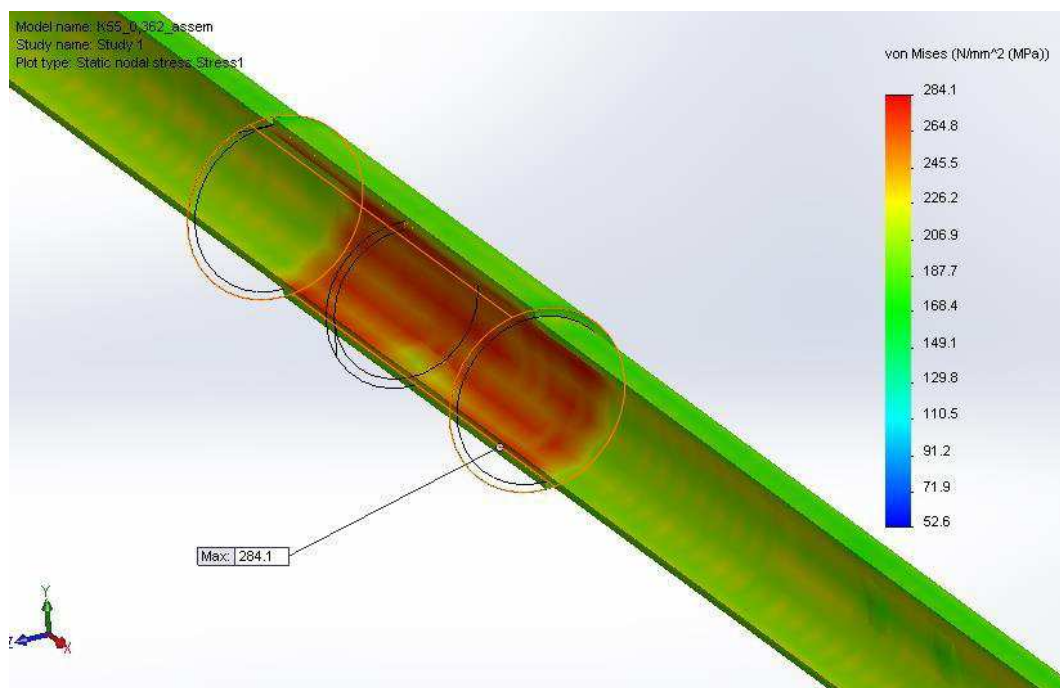
11.ábra: A K55-ös anyagminőségű béléscső anyagjellemzőinek meghatározása
(Szerző saját szerkesztése 4. melléklet alapján)

3. Az unlimited módszerrel meghatározott nyomásokkal és terhelésekkel vizsgáltam a K55-ös béléscsövet geotermikus viszonyok figyelembe vétele nélkül (lásd 12.ábra).



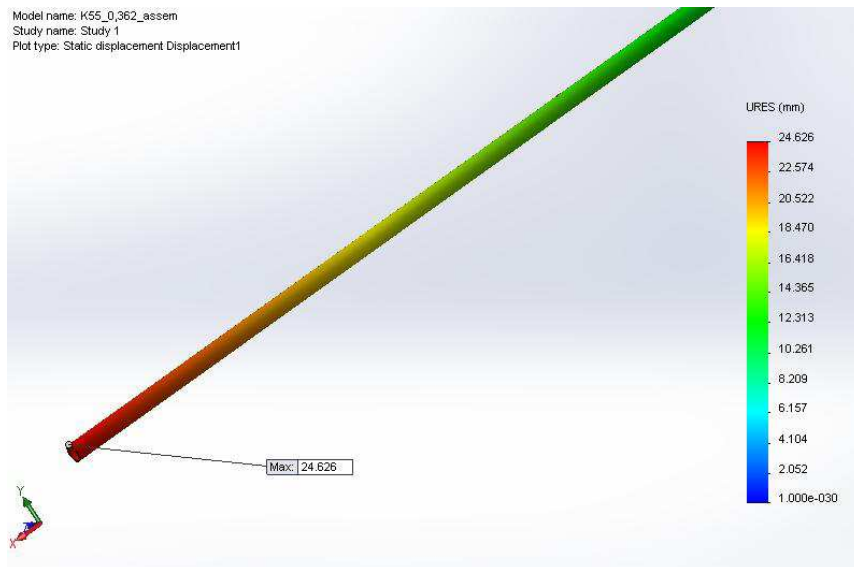
12.ábra: Nyomások és terhelések meghatározása
(Szerző saját szerkesztése 2.ábra és 4.táblázat alapján)

4. A végelem vizsgálat lefuttatása után a csőben ébredő maximális σ feszültség = **284,1 MPA** (lásd 13.ábra).



13. ábra: A K55-ös 0,362 in falvastagságú béléscsőben keletkező feszültség
(Szerző saját szerkesztése 9.,10.,11.,12. ábra alapján)

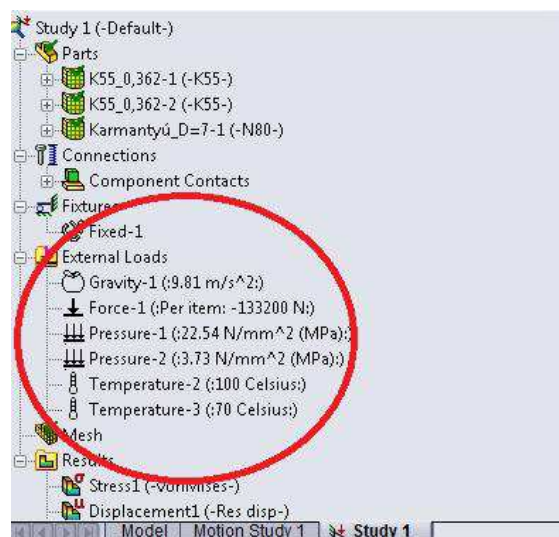
5. A $\sigma = 284,1 \text{ MPa}$ – hoz tartozó maximális nyúlás = **24,626 mm** (lásd 14. ábra).



14.ábra: A K55-ös 0,362 in falvastagságú béléscsőben keletkező nyúlás
(Szerző saját szerkesztése 13.ábra alapján)

Kijelenthető, hogy a K55-ös anyagminőségű csőben ébredő feszültségek és nyúlások a geotermikus viszonyok figyelembe vétele nélkül megfelelnek az API szabvány (4.melléklet) előírásainak, a béléscső biztonsággal beépíthető.

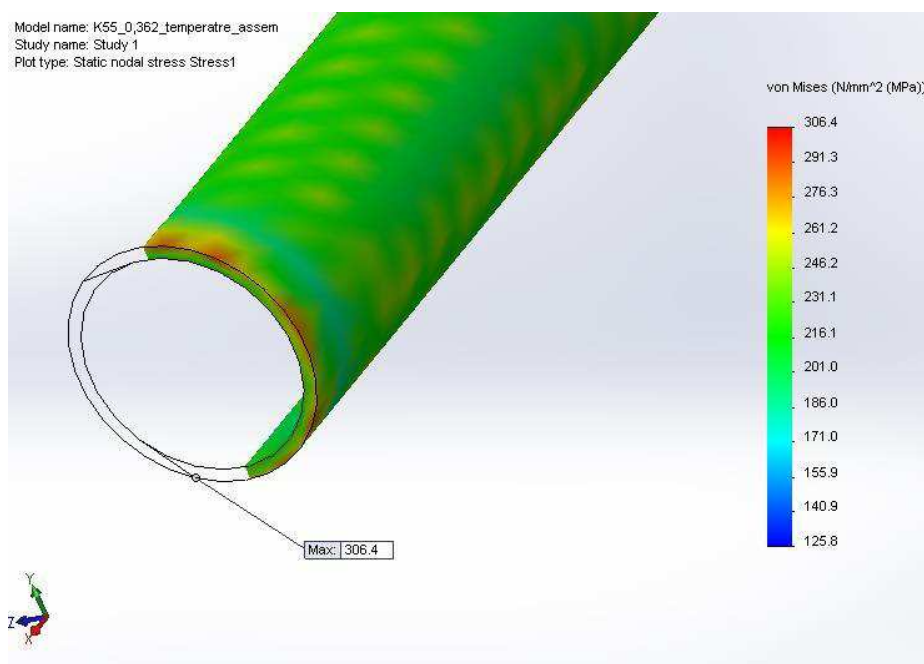
6. Az Unlimited módszerrel meghatározott nyomásokkal és terhelésekkel vizsgáltam a K55-ös béléscsövet, geotermikus viszonyok figyelembe vételével (lásd 15.ábra).



15.ábra: Béléscső végeelem vizsgálata geotermikus hőmérsékleti viszonyok figyelembe vételével

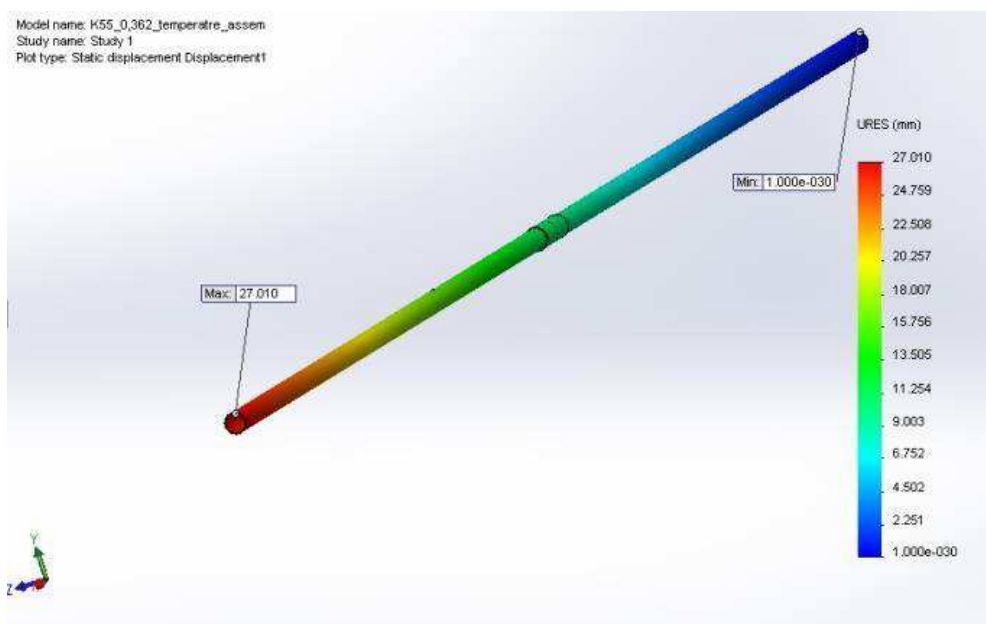
(Szerző saját szerkesztése a 10.oldalon szereplő adatok és 12.ábra alapján)

7.A végelem vizsgálat eredménye,geotermikus hőmérsékleti viszonyok figyelembe vételével a csőben ébredő maximális σ feszültség = **306,4 MPA** (lásd 16.ábra).



16.ábra: A végelem vizsgálat lefuttatása geotermikus hőmérsékleti viszonyok figyelembe vételével
(Szerző saját szerkesztése 15.ábra alapján)

8.A $\sigma = 306,4$ MPa – hoz tartozó maximális nyúlás = **27,01 mm** (lásd 17.ábra)



17.ábra: A nyúlás meghatározása geotermikus viszonyok között
(Szerző saját szerkesztése 16.ábra alapján)

5.2. Végelem vizsgálat eredményei

9.táblázat: Végelem vizsgálat eredményeinek összefoglalása
(13.,14.,16.,17.ábra alapján)

	Béléscsőben ébredő maximális feszültség, σ (MPa)	Béléscsőben ébredő maximális nyúlás (mm)
Nem geotermikus hőmérsékleten (szénhidrogén kút)	284,1	24,622
Geotermikus hőmérsékleti viszonyok között (geotermikus kút)	306,4	27,01
K55-API szabvány szerinti megengedett érték (4.melléklet alapján)	Min: 379 Max: 552	90
Biztonsági tényező (Geotermikus kútra, minimális folyáshatárra)	1,23	3,33

Konklúzió:

A 9.táblázat szerint az unlimited módszerrel méretezett geotermikus kút 7"-os, K55-ös minőségű, 0,362 in falvastagságú béléscső a geotermikus kút igénybevételeinek megfelel, végelem vizsgálat szerint is.

6. A CEMENTPALÁST BÉLÉSCSŐRE GYAKOROLT SZILÁRDÍTÓ HATÁSÁNAK PONTOS MEGHATÁROZÁSA

TDK dolgozatom írása közben Dr. Árpási Miklós: Mélyfúrás, mélyfúrési csövek és méretezésük könyvében a következő mondatot olvastam a könyv 160. oldalán:

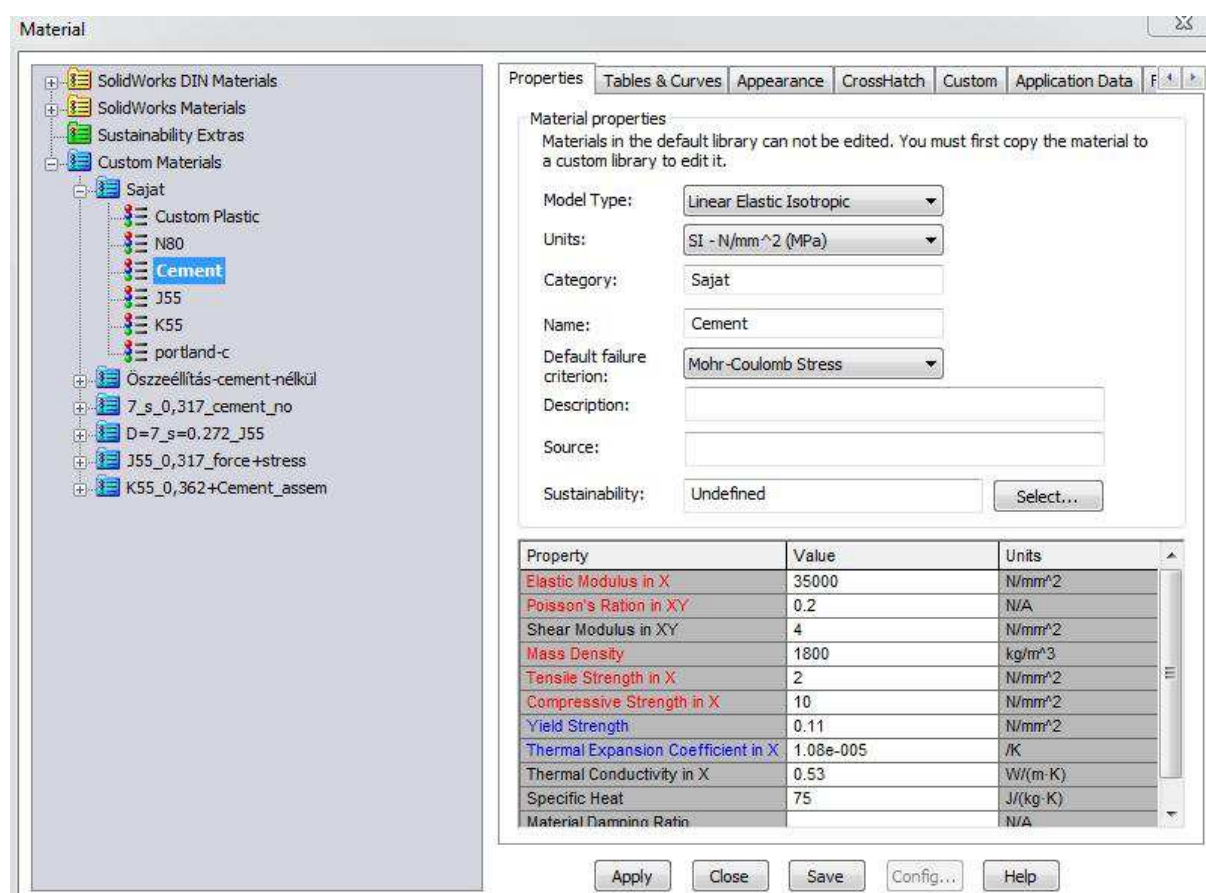
„ A legtöbb tervező figyelmen kívül hagyja a cementpalást esetleges szilárdító szerepét.”

A cementpalást béléscsőre gyakorolt szilárdító hatásának végeselem vizsgálata a már rendelkezésemre álló modellemben lehetséges, mert a SolidWorks 2012 programban szabadon definiálhatók az anyagok, így a különféle mélyfúrási cementező anyagok is.

A modell optimális cementkötést feltételez, nem számol a cementben esetlegesen létrejövő zárványokkal és a cementpalástot mint szabályos henger keresztmetszetet vizsgálja, nem számol az esetleges rétegek közé történő cement beszivárgással. A vizsgált béléscsőre gyakorolt szilárdító hatás a maximális szilárdítást hozza végeredményként.

6.1. A végeselem vizsgálat lépései

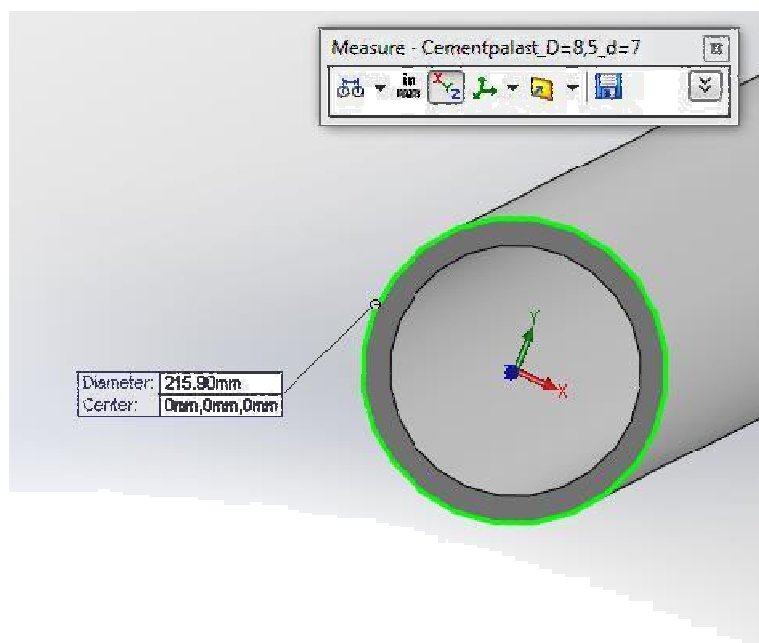
1. A cement anyagjellemzőinek definiálása (lásd 18.ábra).



18.ábra: Cement anyagjellemzőinek meghatározása
(Szerző saját szerkesztése az 5.,6.melléklet alapján)

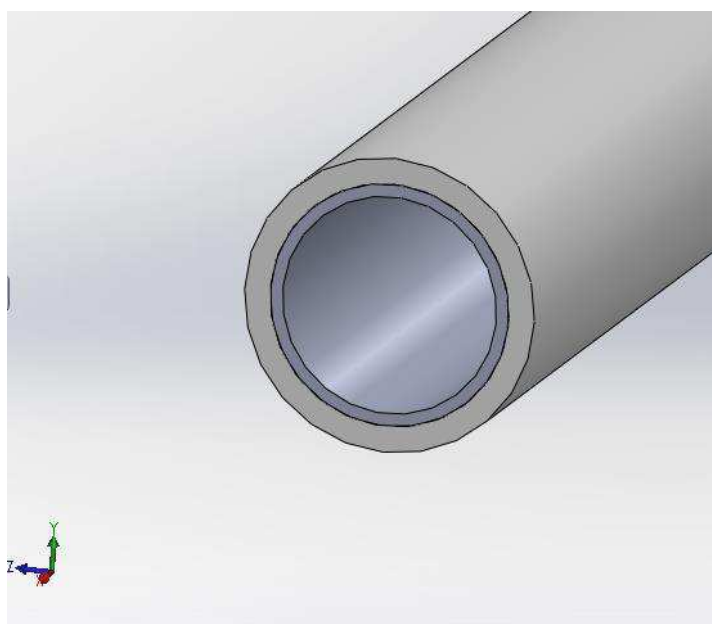
2. A cementpalást modellezése (lásd 19.ábra)

A K55 –ös 7” –os béléscső $8\frac{1}{2}$ ”-os fúrólyukban van (lásd 1.melléklet), ezért a cementpalást külső átmérője $8\frac{1}{2}$ ” = 215,9 mm. A cementpalást belső átmérője 7” .



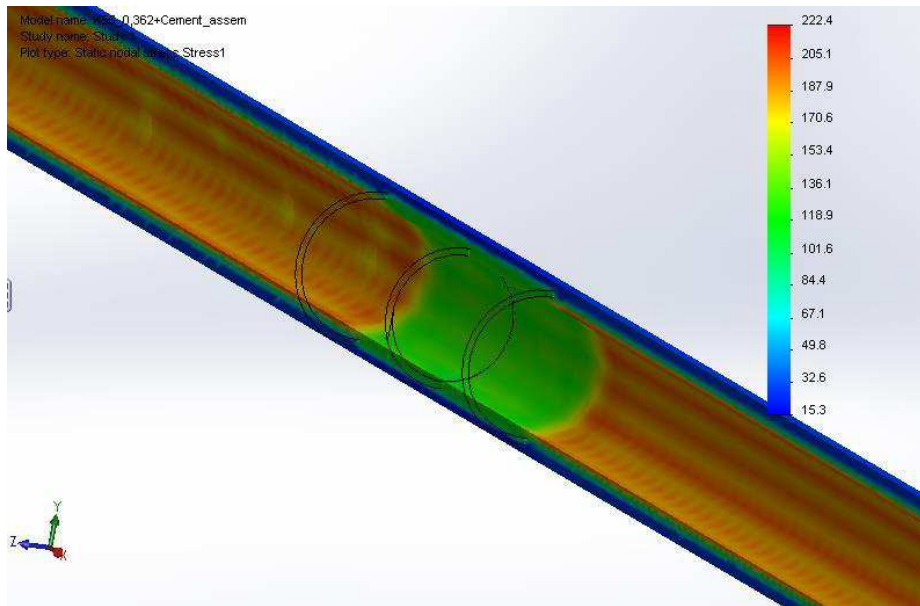
19.ábra: A cementpalást geometriai modellje
(Szerző saját szerkesztése az 1.melléklet alapján)

3. A cementpalást beillesztése a K55 –ös 7” –os bélésűcső modellbe (lásd 20.ábra).



20.ábra: Cementpalást a bélésűcső körül
(Szerző saját szerkesztése a 19. ábra alapján)

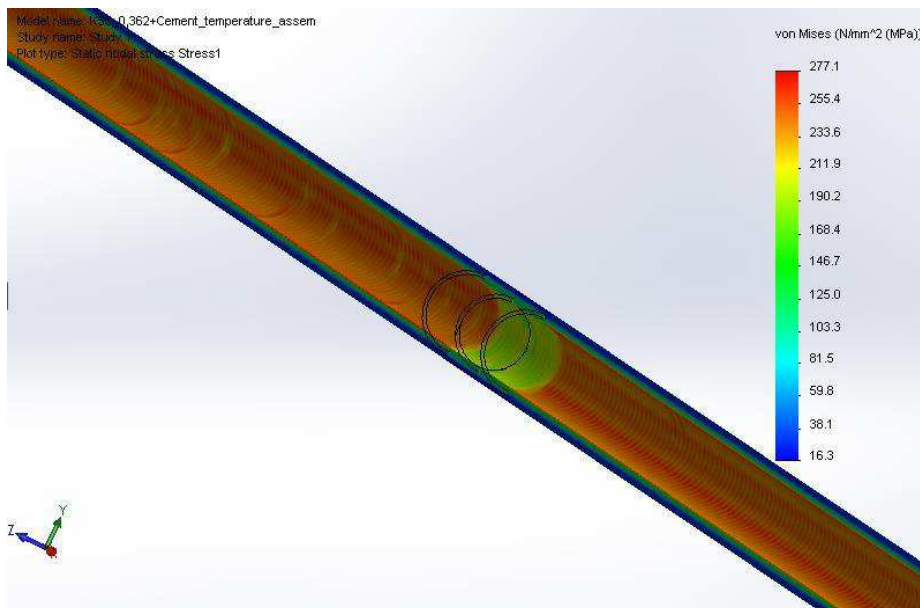
4. A végelem vizsgálat lefuttatása cementpalásttal körbevett K55-ös bélésű csővön, a bélésű csőben létrejövő maximális feszültség: **$\sigma = 222,4 \text{ MPa}$** (lásd 21.ábra)



21.ábra: A cementpalásttal körbevett K55-ös bélésű cső végelem vizsgálatának eredménye

(Szerző saját szerkesztése 20.ábra alapján)

5. A végelem vizsgálat cementpalásttal körbevett bélésű csővön, geotermikus viszonyok figyelembe vételével. A bélésű csőben ébredő maximális feszültség: **$\sigma = 277,1 \text{ MPa}$** (lásd 22.ábra)



22.ábra: A cementpalásttal körbevett K55-ös bélésű cső végelem vizsgálatának eredménye

(Szerző saját szerkesztése 15.ábra alapján)

6.2. A cementpalást pontosan meghatározott szilárdító hatása

A végeelem vizsgálatokkal meghatározható a cementpaláستtal körbevett K55-ös bélésűben ébredő maximális feszűltűség. A bélűscűvet vizsgáltam geotermikus hűműrsűkleti viszonyok kűzűtt is. A cementpalást csűre gyakorolt szilárdítű hatása pontosan meghatározott az egyes modellekben. A vizsgálat eredményeit táblázatban összegeztem (lásd 10. táblázat).

10.táblázat: Cementpalást bélűscűre gyakorolt szilárdítű hatása

(9. táblázat és 21.,22. ábra alapján)

	Bélűscűben ébredű maximális feszűltűség cementpalást nélkül σ (MPa)	Cementpalásttal körbevett bélűscűben ébredű maximális feszűltűség σ (MPa)	Cementpalást bélűscűre gyakorolt szilárdítű hatása (%)
Nem geotermikus hűműrsűkleten (szűnhidrogűn kűt)	284,1	222,4	21,7
Geotermikus hűműrsűkleti viszonyok kűzűtt (geotermikus kűt)	306,4	277,1	9,5

7. TERVEK A TEMA TOVÁBBFEJLESZTÉSÉRE

A végeelem vizsgálatokkal pontosan meghatározhatűvű vált a cementpalást bélűscűre gyakorolt szilárdítű hatása. A vizsgálat elvégezhetű más és más Collapse illetve Burst nyomásokon. A Solidworks 2012 végeelem programban lehetűség van adott terhelűsek és anyagjellemzűk mellett, kűlűnbűzű geometriai lépcsűkben vizsgálni egy modellt, esetűnkben egy K55-űs bélűscűvet. Mindez lehetűséget ad arra, hogy az API szabvány szerinti összes falvastagságon elvégezhetűvű váljon a végeelem vizsgálat. A

cementpalást anyagjellemzői kutanként változnak, de megfelelő laboratóriumi vizsgálatokkal ezek az anyagjellemzői adatok meghatározhatók, így a végeelem programba betáplálhatók. A felsorolt paraméterek változtatásával kijelenthető, hogy minden a gyakorlatban előforduló esetben lehetőség van a cementpalást béléscsőre gyakorolt szilárdító hatásának pontos meghatározására. Ez a tény egyes esetekben a béléscső falvastagságának csökkentéséhez vezethet (amennyiben a gyengített béléscső a húzó igénybevételnek és a Collapse és Burst nyomásnak ellenáll).

Tervem egy méretezés felállítása, amely a cementpalást béléscsőre gyakorolt pontos szilárdító hatásával számol. Amennyiben az általam elképzelt méretezés a gyakorlatban is helytáll, jelentős gazdasági megtakarítás érhető el a szénhidrogén illetve a geotermikus kutak fúrásánál.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet fejezem ki Dr. Szabó Tibor egyetemi docens, a Miskolci Egyetem Kőolaj és Földgáz Intézet, Olajmérnöki Intézeti Tanszék oktatójának, hogy lehetőséget nyújtott munkám sikeres elvégzéséhez. Köszönöm a TDK dolgozatom megírásához nyújtott hasznos tanácsait, támogatását és töretlen bizalmát.

Köszönet a Zerlux Kft-nek, ahol elősegítették munkámat az olajipari kutatásokból rendelkezésemre bocsátott adatokkal és konstruktív konzultációra adtak lehetőséget.

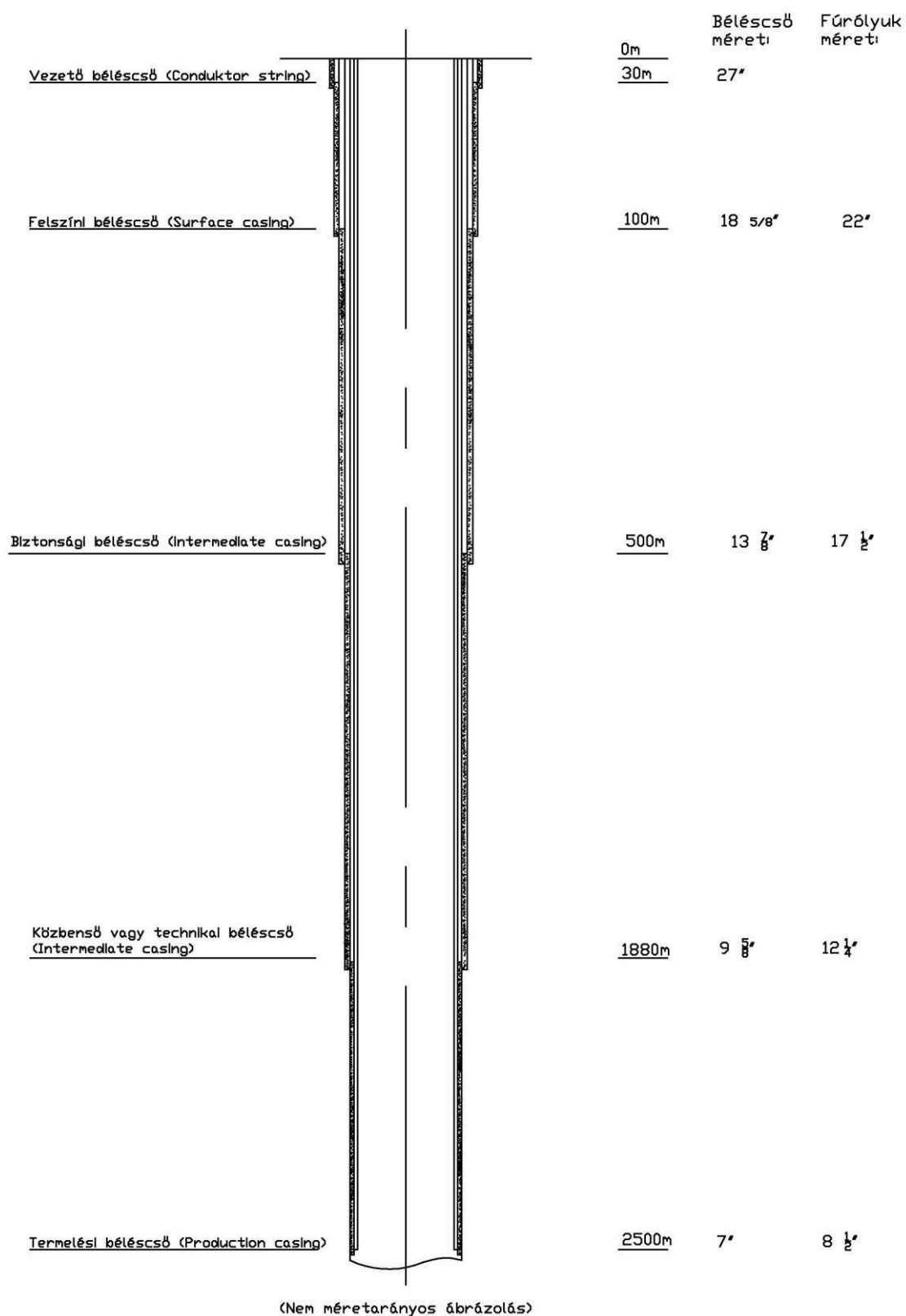
TDK dolgozatom lezárásának dátuma: 2013.11.01

9.FELHASZNÁLT IRODALOM

- API: Specification 5CT, <http://www.gaslinepipe.com/wp-content/uploads/2012/08/API-5CT-Specification-for-Casing-and-Tubing.pdf>, letöltés időpontja 2013.10.10
- Bulatov, AI (1989): Fúrési cementező anyagok és cementezési technológia.(Magyar Szénhidrogénipari Kutató- Fejlesztő Intézet, 1989) 145-201.
- Dr. Árpási M. (1991): Mélyfúrás Mélyfúrési csövek és méretezésük.(Tankönyvkiadó, Budapest, 1991) 101-225.
- Dr. Péczeli I, Dr Szabó T. és Dr. Baksa A. (2007): A végeelem módszer alapjai, <http://www.mech.uni-miskolc.hu/~paczelt/notes/VEM-ME-jegyzet.pdf>, letöltés időpontja: 2013.10.6.
- Dr. Szepesi J. (1978): Mélyfúrás A kitörésvédelem alapjai. (Tankönyvkiadó, Budapest, 1978) 35-57.
- Hussain Rabia (2001): Well Engineering & Construction. (Kansas State University, 2001) 105-270
- Vallourec & Manesmann tubes: Tubes catalog, http://www.vallourecstar.com/MSGBOARD/VMStar_catalog.pdf, letöltés időpontja: 2013.09.20.

10.MELLÉKLETEK JEGYZÉKE

1.melléklet (szerző saját szerkeztése)



2. melléklet

Miskolci Egyetem Olajmérnöki Tanszék

A MÉLYFÚRÁS ALAPJAI Casing Design

Design suitable casing strings for the 17 1/2" hole size, taking into consideration the available casing grades and maximum expected pressure

Relevant data are as follows:

Drilling Programme:

0 - 107 m	20" cased hole
107 - 1890 m	17 1/2" hole
1890 - 3170 m	12 1/4" hole

Casing Programme:

13 3/8" casing to be set at 1882 m

Mud Programme:

17 1/2" section of hole:	mud weight is 1050 kg/m ³
12 1/4" section of hole:	mud weight is 1080 kg/m ³

Safety factors:	Burst:	1.1
	Collapse:	1.0
	Tension:	1.8

Formation fluid gradient:

12 1/4" section of hole: 0,1086 bar/m

Gradient of invading fluid: 0.02262 bar/m. Well deviation is negligible.

Available casing grades:

Grade weight lb/ft (kg/m)	Collapse resistance (bar) SF=1	Burst resistance (bar) SF=1	Tension (kN) (Yield strength)	
			Body	Coupling
K55 /54.5 (81.2)	78	195	3794	2829
K55 /68 (101)	134	251	4755	3714
L80 /72 (107)	184	396	7405	7259
C95/72 (107)	194	412	8770	7882

Reduction in collapse resistance due to biaxial effects

Tensile ratio = $\frac{\text{weight carried}}{\text{yield strength}}$	Remaining collapse resistance (%)
0	100
0.1	94.5
0.2	88.5
0.3	81.3
0.4	76
0.5	65
0.6	65
0.7	44.5
0.8	32
0.9	17.8
1.0	0

2013.09.30.

(Mélyfúrás alapjai I, gyakorlati órai feladat)

3. melléklet

Casing Dimensions & Minimum Performance Properties

OD	Weight		Wall	Area	Drift		Grade	Pipe Body					Connection							
	T&C	PE			Collapse	IP (Barlow)		IP (Lamé-open)	IP (Lamé-capped)	IP (Lamé-ductile rupture)	PBYS	8rd STC		8rd LC			BC			
												IP	JT Strength	IP	JT Strength	Opt. Torque	IP	JT Strength		
(in)	(lb/ft)		(in)	(in²)	(in)	(in)		(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(kips)	(psi)	(kips)	(psi)	(kips)	(ft-lbs)	(psi)	(kips)
6 5/8	35.00	34.23	0.525	10.061	5.450	N/A	C110	15,870	15,250	15,070	16,360	16,500	1,107	-	-	-	-	-	-	-
							Q125	17,600	17,330	17,120	18,590	19,370	1,258	-	-	-	-	-	-	-
							Q125 HC	18,700	17,330	17,120	18,590	19,370	1,258	-	-	-	-	-	-	-
							Q125 HCE	18,700	18,720	18,490	20,070	20,210	1,358	-	-	-	-	-	-	-
7	20.00	19.56	0.272	5.749	6.331	N/A	J55	2,270	3,740	3,730	4,160	3,740	316	3,740	234	-	-	-	-	-
							K55	2,270	3,740	3,730	4,160	4,730	316	3,740	254	-	-	-	-	-
7	23.00	22.65	0.317	6.655	6.241	6.250	J55	3,270	4,360	4,340	4,820	4,370	366	4,360	284	4,360	313	3,120	4,360	432
							K55	3,270	4,360	4,340	4,820	5,540	366	4,360	309	4,360	341	3,410	4,360	522
							N80	3,830	6,340	6,310	7,010	5,900	532	6,340	402	6,340	442	4,410	6,340	588
							L80	3,830	6,340	6,310	7,010	6,770	532	6,340	396	6,340	435	4,340	6,340	565
							L80 1Cr	3,830	6,340	6,310	7,010	6,770	532	6,340	396	6,340	435	4,340	6,340	565
							L80 HC	3,920	6,340	6,310	7,010	6,770	532	6,340	396	6,340	435	4,340	6,340	565
							L80 IRP	3,830	6,340	6,310	7,010	6,770	532	6,340	396	6,340	435	4,340	6,340	565
							L80 HCE	3,920	6,930	6,910	7,670	6,770	582	6,930	396	6,930	435	4,340	6,930	565
							C90	4,030	7,130	7,100	7,890	7,860	599	7,130	437	7,130	479	4,790	7,130	605
							C95/R95	4,150	7,530	7,500	8,330	7,530	632	7,530	460	7,530	505	5,050	7,530	636
							T95	4,150	7,530	7,500	8,330	8,310	632	7,530	460	7,530	505	5,050	7,530	636
							T95 HC	5,440	7,530	7,500	8,330	8,310	632	7,530	460	7,530	505	5,050	7,530	636
OD	Weight		Wall	Area	Drift		Grade	Pipe Body					Connection							
	T&C	PE			Collapse	IP (Barlow)		IP (Lamé-open)	IP (Lamé-capped)	IP (Lamé-ductile rupture)	PBYS	8rd STC		8rd LC			BC			
												IP	JT Strength	IP	JT Strength	Opt. Torque	IP	JT Strength		
(in)	(lb/ft)		(in)	(in²)	(in)	(in)		(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(psi)	(kips)	(psi)	(kips)	(psi)	(kips)	(ft-lbs)	(psi)	(kips)
7	26.00	25.69	0.362	7.549	6.151	N/A	J55	4,330	4,980	4,950	5,470	5,010	415	4,980	334	4,980	367	3,670	4,980	490
							K55	4,330	4,980	4,950	5,470	6,350	415	4,980	364	4,980	401	4,000	4,980	592
							N80	5,410	7,240	7,200	7,960	6,770	604	7,240	472	7,240	519	5,190	7,240	667
							L80	5,410	7,240	7,200	7,960	7,770	604	7,240	465	7,240	511	5,100	7,240	641
							L80 1Cr	5,410	7,240	7,200	7,960	7,770	604	7,240	465	7,240	511	5,100	7,240	641
							L80 HC	5,520	7,240	7,200	7,960	7,770	604	7,240	465	7,240	511	5,100	7,240	641
							L80 IRP	5,410	7,240	7,200	7,960	7,770	604	7,240	465	7,240	511	5,100	7,240	641
							L80 HCE	5,520	7,920	7,880	8,710	7,770	661	7,920	465	7,920	511	5,100	7,920	641

STC short round thread casing ALT alternate drift
 LC long round thread casing IP internal pressure
 BC buttress thread casing PBYS pipe body yield strength



Subject to Disclaimer and Limitation of Liability on page 2

50

VALLOUREC & MANNESMANN TUBES

(Vallourec & Mannesmann tubes alapján)

4.melléklet

API Specification 5CT / ISO 11960

Table C.6 — Tensile and hardness requirements

Group	Grade	Type	Total elongation under load %	Yield strength MPa		Tensile strength min, MPa	Hardness ^a max.		Specified wall thickness mm	Allowable hardness variation ^b HRC
				min.	max.		HRC	HBW		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	H40	—	0,5	276	552	414	—	—	—	—
	J55	—	0,5	379	552	517	—	—	—	—
	K55	—	0,5	379	552	655	—	—	—	—
	N80	1	0,5	552	758	689	—	—	—	—
	N80	Q	0,5	552	758	689	—	—	—	—
2	M65	—	0,5	448	586	586	22	235	—	—
	L80	1	0,5	552	655	655	23	241	—	—
	L80	9Cr	0,5	552	655	655	23	241	—	—
	L80	13Cr	0,5	552	655	655	23	241	—	—
	C90	1 & 2	0,5	621	724	689	25,4	255	≤ 12,70	3,0
	C90	1 & 2	0,5	621	724	689	25,4	255	12,71 to 19,04	4,0
	C90	1 & 2	0,5	621	724	689	25,4	255	19,05 to 25,39	5,0
	C90	1 & 2	0,5	621	724	689	25,4	255	≥ 25,40	6,0
	C95	—	0,5	655	758	724	—	—	—	—
	T95	1 & 2	0,5	655	758	724	25,4	255	≤ 12,70	3,0
	T95	1 & 2	0,5	655	758	724	25,4	255	12,71 to 19,04	4,0
	T95	1 & 2	0,5	655	758	724	25,4	255	19,05 to 25,39	5,0
	T95	1 & 2	0,5	655	758	724	25,4	255	≥ 25,40	6,0
	P110	—	0,6	758	965	862	—	—	—	—
4	Q125	All	0,65	862	1034	931	b	—	≤ 12,70	3,0
	Q125	All	0,65	862	1034	931	b	—	12,71 to 19,04	4,0
	Q125	All	0,65	862	1034	931	b	—	≥ 19,05	5,0

^a In case of dispute, laboratory Rockwell C hardness testing shall be used as the referee method.^b No hardness limits are specified, but the maximum variation is restricted as a manufacturing control in accordance with 7.8 and 7.9.

(API 5SCT alapján)

5.melléklet

Portland Cement

Categories:

Ceramic; Concrete

Material Notes:

Portland cement (Type I) paste with no aggregate prepared with a water/cement ratio of 0.35:1 and cured 28 days.

This data comes from a study that examined the effect of silica fume on Portland cement pastes. A total of four data sheets are in MatWeb from this study.

Vendors:

No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Printer friendly version

Download as PDF

Download to Excel (requires Excel and Windows)

Export data to your CAD/FEA program

Add to Folder:

My Folder

 0/0

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.01 g/cc	0.0726 lb/in³	
Porosity	2.32 %	2.32 %	Air Void Content

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	0.910 MPa	132 psi	
Elongation at Break	0.0041 %	0.0041 %	In Tension
	1.72 %	1.72 %	In Compression
Tensile Modulus	11.2 GPa	1620 ksi	
Compressive Strength	57.9 MPa	8400 psi	
Compressive Modulus	2.92 GPa	424 ksi	

Thermal Properties	Metric	English	Comments
Specific Heat Capacity	0.736 J/g-°C	0.176 BTU/lb-°F	
Thermal Conductivity	0.530 W/m-K	3.68 BTU-in/hr-ft²-°F	
Shrinkage	0.0498 %	0.0498 %	Upon drying

(<http://www.matweb.com/> alapján, letöltés ideje: 2013.10.1)

6.melléklet

626

K.K. Sideris et al. / Cement & Concrete Composites 26 (2004) 623–631

Table 2

Hydration equation of compressive strength (f_c) and modulus of elasticity (E_c) of concrete (measured values taken from Naik et al. [6])

	Hydration time (days)							
	1	7	28	91	180	365	730	5475
Compressive strength (f_c)								
$f_{c,meas}$ (MPa)	9.7	32.6	44.6	52.9	–	63.3	–	–
Hydration equation: $f_c = 176.9895 - 162.1497 * t^{-0.06}$ (MPa), $t \geq 1$, $r = 0.9997$, $s = 0.399$ (MPa)								
$f_{c,calc}$ (MPa)	–	32.71	44.22	53.29	58.25	63.18	67.82	80.25
Modulus of elasticity (E_c)								
$E_{c,meas}$ (GPa)	11.7	27.4	31.1	38.0	–	42.4	–	–
Hydration equation: $E_c = 117.173 - 105.2175 * t^{-0.06}$ (GPa), $t \geq 1$, $r = 0.99807$, $s = 1.03$ (GPa)								
$E_{c,calc}$ (GPa)	11.96	23.55	31.02	36.90	40.12	43.32	46.33	54.40

Correlation between the calculated values of the hydration criteria $E_{c,calc}$ and $f_{c,calc}$
Relationship between compressive strength and modulus of elasticity of concrete. Linear regression over the value pairs $E_{c,calc}$ – $f_{c,calc}$
Straight line: $E_c = 2.3237 + 0.6489 * f_{c,calc}$ (GPa), $r = 1.0$, $s = 0.0024$ (GPa)
Because the correlation coefficient is equal to 1.0, there is a linear relationship between compressive strength and modulus of elasticity of concrete

K.K. Sideris et al. / Cement & Concrete Composites 26 (2004) 623–631

629

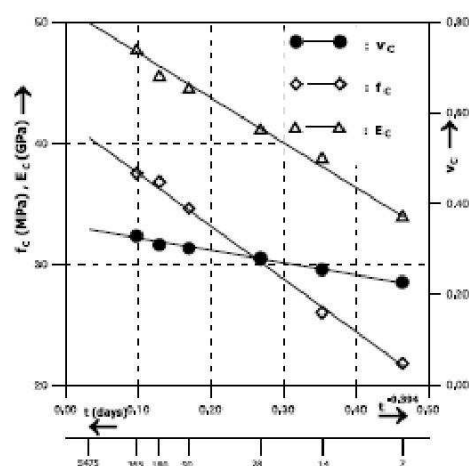


Fig. 3. Compressive strength (f_c), modulus of elasticity (E_c) and Poisson ratio (v_c) of concrete as a function of hydration time (calculated and measured values taken from Table 3).

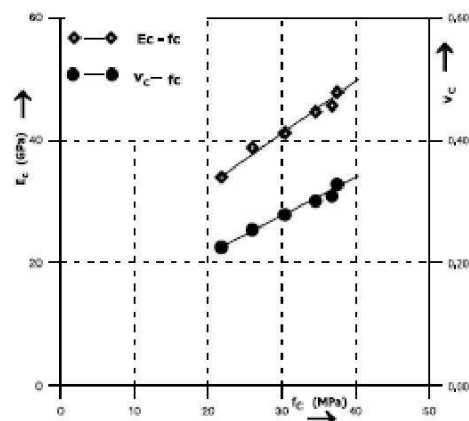


Fig. 4. Linear correlation between modulus of elasticity (E_c) and compressive strength (f_c) of concrete, and between Poisson ratio (v_c) and compressive strength (f_c) of concrete (calculated and measured)

4. Discussion

1. From Tables 1–3 and Figs. 1–3 it turns out that cement hydration equation is applicable to the hydration criteria of modulus of elasticity and Poisson ratio of concrete. Hence, these hydration criteria can be considered as established hydration criteria, like that of compressive strength of paste, mortar and concrete, heat of hydration, non-evaporable water, surface area etc. This implies that the hydration equation of modulus of elasticity and Poisson ratio of concrete can be drawn up in order to calculate the values of these hydration criteria up to the age of 15 years, where the hydration ends.

2. The finding concerning the established hydration criteria of modulus of elasticity and Poisson ratio of concrete leads to the linear proportionality between any two established hydration criteria [13–15], which exists at all instances. This implies that there is a linear relationship between modulus of elasticity of concrete and mortar's compressive strength evidenced in Table 1, between compressive strength and modulus of elasticity of concrete evidenced in Tables 1–3, and between Poisson ratio and compressive strength of concrete evidenced in Table 3.

3. This finding as well as the linear relationship between compressive strength of mortar and concrete (Table 1) lead to the possibility of estimating ultimate modulus of elasticity and Poisson ratio using the "method of two points proportionality", discussed in a previous study [18]. This method leads to reliable results and is useful because only simple measurements are needed. For this reason it can be used in each usual concrete laboratory. Further, this method can be also used to investigate systematically the effect of curing time, of water to cement ratio, of cement content, of cement composition, of pozzolan content, of aggregate type, of fine material content, of superplasticizer etc. on the modulus of elasticity and Poisson ratio of concrete.

4. Tables 1 and 3 show the magnitude of the difference between the values of modulus of elasticity and Poisson ratio at 28 days and that by final hydration of concrete. The differences range up to about 75% for E_c and 32% for v_c of the examined concrete. This implies that the elastic characteristics of concrete significantly