

## METANOLSZINTÉZIS ÉS BERENDEZÉSÉNEK VIZSGÁLATA

**Kállai Viktória** 

*tudományos segédmunkatárs, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,  
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék*  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [viktoria.kallai@uni-miskolc.hu](mailto:viktoria.kallai@uni-miskolc.hu)

**Petrik Máté** 

*adjunktus, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,  
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék*  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [mate.petrik@uni-miskolc.hu](mailto:mate.petrik@uni-miskolc.hu)

**Szepesi L. Gábor** 

*egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,  
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék*  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [gabor.szepesi@uni-miskolc.hu](mailto:gabor.szepesi@uni-miskolc.hu)

**Kállay András Arnold** 

*tudományos főmunkatárs, Miskolci Egyetem, Energia és Minőségügyi Intézet*  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [tuzaak@uni-miskolc.hu](mailto:tuzaak@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

*Jelen tanulmányban metanolszintézissel és berendezésének vizsgálatával foglalkoztunk. A metanol napjainkban fontos alapanyaga a vegyiparnak. Szén-monoxid, szén-dioxid és hidrogén gázok reagáltatásával történő metanol előállítását és berendezését mutatja be ezen tanulmány. Folyamatszimulátor szoftver segítségével paraméterszámítást készítettünk a térfogat, nyomás és hőmérséklet befolyásoló hatására a lejátszódó reakció konverziós fokának tekintetében. Numerikus áramlástan szimulációt készítettünk töltetágyon történő áramlás vizsgálatával, amely során a reaktorban kialakuló nyomás- hőmérséklet- és sebességeloszlást határoztuk meg. Elkészítettük a reakció során alkalmazandó berendezés méretezését, amely alapján azt kaptuk eredményül, hogy a reaktor külső mérete 48,3 mm, falvastagsága 2,9 mm, az anyaga 1.4541 minőségű ausztenites acél. A cikkben bemutatásra kerül a reaktor konstrukciós modellje.*

**Kulcsszavak:** metanolszintézis, reaktor, nyomás

### **Abstract**

*In the present study, methanol synthesis and its reactor were investigated. Nowadays methanol is an important raw material in chemical industry. Methanol production is presented in this study by reaction of carbon monoxide, carbon dioxide and hydrogen gases and the equipment of this process. Using process simulator software, a parametric study of the influence of volume, pressure, and temperature on the degree of conversion of the reaction was carried out. A numerical flow simulation was performed to investigate the flow through a packed bed, during which the pressure, temperature and velocity distributions in the reactor were determined. The strength analysis of the reactor equipment to be used in the reaction was carried out, and the results showed that the reactor has an external dimension of 48.3 mm,*

a wall thickness of 2.9 mm and the material of it is an austenitic steel of 1.4541. The article presents a construction model of the reactor.

**Keywords:** synthesis of methanol, reactor, pressure

## 1. Bevezetés

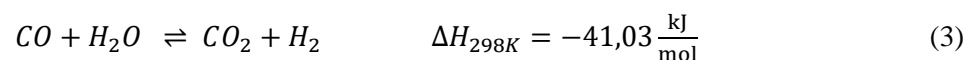
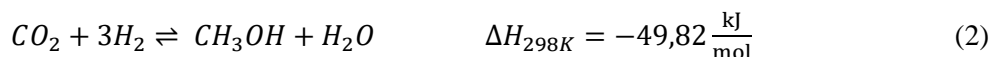
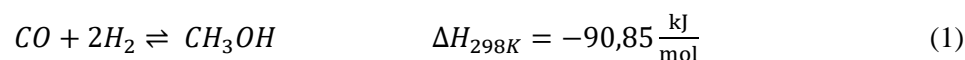
A metanol ( $\text{CH}_3\text{-OH}$ ) egy régóta ismert vegyület, amely iránti igény egyre inkább növekszik a világban. A legegyszerűbb telített alkohol, amely számos szintézisfolyamat kiindulási anyaga és gyakran oldószerként alkalmazzák (Tungler, 2019). A legfontosabb alapkémiai anyagok közé tartozik az iparban és kémiai energiahordozóként (üzemanyagcellák üzemanyagaként) egyre fontosabbá válik (Peter et al., 2012).

Tiszta metanolt Robert Boyle állított elő először 1661-ben a ládakészítéshez használt fa száraz lepárlásával, ebből adódóan faszesznek is nevezik ezt a vegyületet. Mittasch és munkatársai 1913-ban szintézisgázból Fe katalizátorral állítottak elő metanoltartalmú elegyet a BASF-nél. Szintén a BASF-nél Matthias Pier 1923-ban cink és króm-oxid tartalmú katalizátor segítségével állított elő metanolt 300 bar nyomáson és 300 °C feletti hőmérsékleten. Az 1960-as években az ICI kifejlesztette a kisnyomású szintézis folyamatát, amelyhez Cu-tartalmú katalizátort alkalmaztak. Manapság a világban elsősorban ezzel az eljárással állítanak elő metanolt (Tungler, 2019; Borisut and Nuchitprasittichai, 2020).

A metanol előállítása szén-hidrogén hidrogénezésével egy zöld kémiai folyamat, amely csökkentheti a  $\text{CO}_2$ -kibocsátást.

Borisut és Nuchitprasittichai ASPEN HYSYS V10.1 folyamatszimulátor szoftverrel, Peng-Robinson anyagtulajdonság-becselő modellel vizsgálták a metanolszintézis folyamatát. Egy keverőbe adtak 1000 kmol/h, 40 °C-os szén-dioxidot és 3000 kmol/h, 25 °C-os hidrogént 20 bar nyomáson. Majd az elegyet a reakcióhoz szükséges nyomásra sűrítették és hőmérsékletre melegítették. A metanol előállítási folyamat két szakaszra bontható. Az első szakasz a metanolgyártás, amelyben a reaktánsokból egy egyensúlyi reaktorban előállítják a metanolt. A második szakaszban a metanol tisztítása történik. Az előállított metanoltermék tisztasága 99,5 mol% volt. A szerzők a metanol előállítási költségeit is vizsgálták, amely nemcsak a működési feltételektől, hanem a nyersanyagok árától is függ. Meghatározták, hogy a hidrogén árának 50%-os növekedése az alapértékhez képest a metanol előállítási költségének 38%-os növekedését eredményezte. A hidrogén árának az alapárhoz képest 50%-kal csökkentett értéke a metanol előállítási költségét 890,75 dollárról 585,58 dollárra csökkentette. (Borisut and Nuchitprasittichai, 2020).

Napjainkban a metanolt kereskedelmi forgalomban Cu/ZnO/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katalizátor alkalmazásával alacsony nyomáson (50–100 bar) és alacsony hőmérsékleten (200–300 °C) állítják elő. Három általános reakció írja le a metanolképződés folyamatát, ha a kiindulási anyagok a szén-monoxid, a szén-dioxid és a hidrogén (Peter et al., 2012):



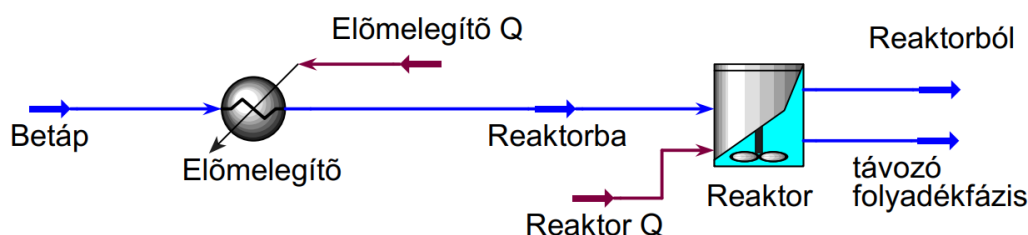
## 2. A vizsgált rendszer

Az általunk vizsgált rendszerben szén-monoxid, szén-dioxid és hidrogén bevezetésével történik a metanol előállítása 40 bar nyomáson és 300 °C hőmérsékleten. Ezen hőmérséklet egy előmelegítő segítségével biztosított (1. ábra). A betáplálás mennyiségi és összetéleri adatait az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. A betáp mennyiségi és minőségi adatai

Móláram [kmol/h]		0,04281	Tömegáram [kg/h]		0,6
Összetétel [mol%]	CO	30	Összetétel [tömeg%]	CO	60
	CO <sub>2</sub>	10		CO <sub>2</sub>	31,4
	H <sub>2</sub>	60		H <sub>2</sub>	8,6

A rendszert Unisim Design<sup>TM</sup> folyamatszimulátor-szoftver környezetben vizsgáltuk Peng-Robinson anyagtulajdonság-becslő modell alkalmazásával. Az (1)–(3) összefüggésekkel jelölt kinetikus reakciókat alkalmaztuk a szimulációk során, amelyekhez a (Peter et al., 2012) irodalomban szereplő Arrhenius konstansok kerültek felhasználásra.



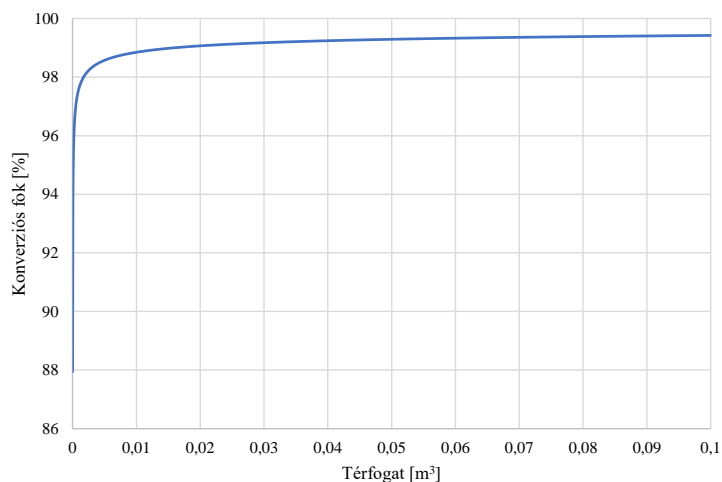
1. ábra. A vizsgált folyamat PFD ábrája Unisim Design<sup>TM</sup> környezetben

Paramétervizsgálatot végeztünk az (1) összefüggésben szereplő reakció lejtésének konverziós fokára abban az esetben, ha változik a reaktor térfogata, a reaktorban lévő nyomás, illetve a hőmérséklet. Mivel kis mennyiség bevezetése történik a reaktorba, ezért a térfogatát is kellően kis méretűre vettük, a maximálisan vizsgált térfogat 0,1 m<sup>3</sup> volt. Az edény térfogatnövelésének hatását a konverziós fokra a 2. ábra szemlélteti.

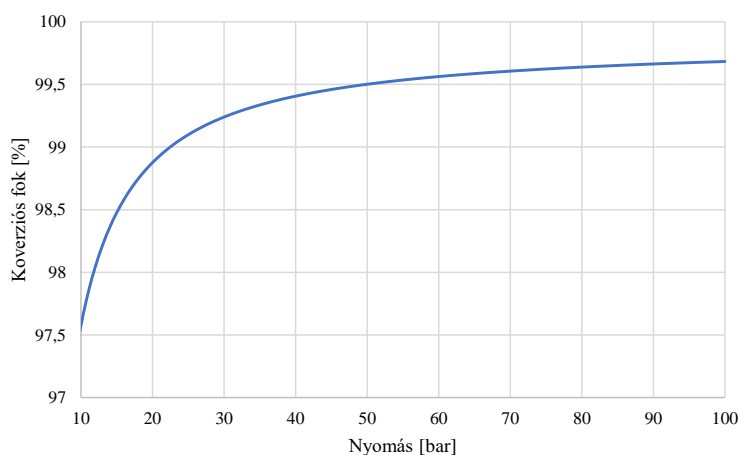
A 2. ábra segítségével megállapítható, hogy már 0,02 m<sup>3</sup> reaktortérfogat esetén 99%-os konverziós fok érhető el, azaz ilyen kis tömegáram esetén nem érdemes jóval nagyobb reaktortérfogat alkalmazása. A 0,1 m<sup>3</sup> térfogathoz 99,42%-os konverziós fok tartozik. Azaz ötszörös térfogatnövelés mindössze 0,42%-os növekedést jelent a konverziós fokban.

A szimulációs eredmények azt mutatták, hogy a hőmérséklet változtatása nincs befolyással a konverziós fokra.

A nyomás változtatásával azonban már tapasztalható eltérés a konverziós fok értékében (3. ábra). 40 bar nyomással 99,41%-os konverziós fok érhető el, míg 100 bar nyomás esetén 99,68%-os konverziós fok adódik. A nyomás változásának a hatását kísérleti úton ellenőrizni szükséges a megépített berendezésen.



2. ábra. A reaktor térfogatának hatása a konverziós fokra

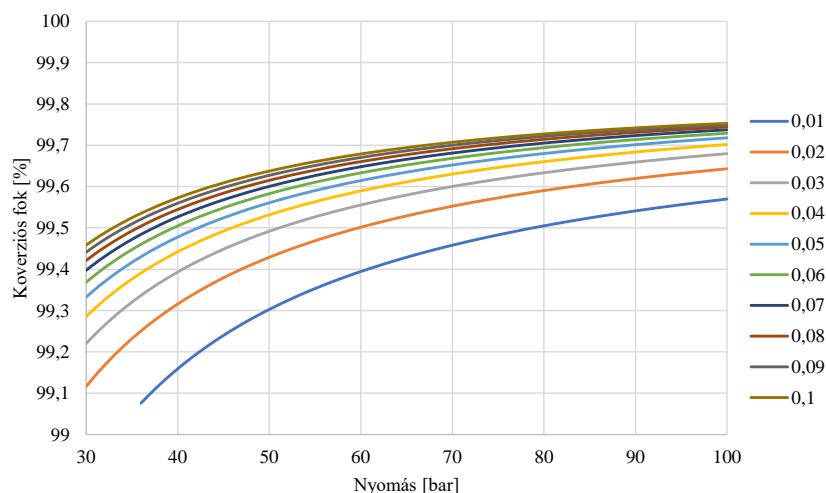


3. ábra. Nyomás hatása a konverziós fokra

Abban az esetben, ha a reaktor térfogata  $0,02 \text{ m}^3$  és 40 bar nyomáson játszódik le a folyamat, a 2. táblázatban szereplő paraméterek adódnak a folyamat lejátszódása után.

2. táblázat. A folyamat lejátszódása utáni paraméterek

Móláram [kmol/h]		0,01727	Tömegáram [kg/h]		0,6
Összetétel [mol%]	CO	0,7	Összetétel [tömeg%]	CO	0,44
	CO <sub>2</sub>	24,6		CO <sub>2</sub>	31,26
	H <sub>2</sub>	1,1		H <sub>2</sub>	0,043
	CH <sub>3</sub> -OH	73,5		CH <sub>3</sub> -OH	68,2
	H <sub>2</sub> O	0,1		H <sub>2</sub> O	0,059



4. ábra. Nyomás hatása a konverziós fokra különböző reaktortérfogatok esetén

A 4. ábra a vizsgált térfogatok esetén mutatja be a nyomás változásának hatását. A diagram jelmagyarázatában szereplő értékek a reaktor adott térfogatát jelölik  $\text{m}^3$  mértékegységben.

Látható, hogy minél nagyobb a nyomás és a reaktor térfogata, annál nagyobb konverziós fok érhető el. A 3. táblázat a legnagyobb értékek esetén lejátszódó folyamathoz tartozó összetéleri és mennyiségi paramétereket mutatja be.

Megállapítható, hogy sokkal nagyobb berendezés és sokkal nagyobb nyomás esetén sem érhető el számottevő változás a termék összetételét illetően.

3. táblázat. A legmagasabb nyomásértékhez és  $0,1 \text{ m}^3$  reaktortérfogathoz tartozó paraméterek

Móláram [kmol/h]		0,01718	Tömegáram [kg/h]		0,6
Összetétel [mol%]	CO	0,36	Összetétel [tömeg%]	CO	0,29
	CO <sub>2</sub>	24,71		CO <sub>2</sub>	31,14
	H <sub>2</sub>	0,08		H <sub>2</sub>	0
	CH <sub>3</sub> -OH	74,63		CH <sub>3</sub> -OH	68,46
	H <sub>2</sub> O	0,21		H <sub>2</sub> O	0,11

### 3. Reaktor numerikus áramlástani modellezése

A reaktorban játszódik le a korábban ismertetett reakció magas hőmérsékleten, nagy nyomáson, katalizátor jelenlétében. A katalizátorként alkalmazott Cu/ZnO/AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> anyag hengeres pasztillaként van behelyezve a reaktorba. Ezen a töltelékhalmozaton keresztüli áramlás modellezését numerikus áramlástani módszerekkel vizsgáltuk, ahol elsősorban a kialakuló áramlási képre, valamint a nyomásvesztés meghatározására helyeztük a hangsúlyt. A pasztillákkal töltött oszlopszakaszt porózus közegnek tekintettük. Általánosságban írható, hogy izotróp porózus közegben történő nyomásvesztés az alábbi összefüggéssel számolható:

$$\Delta p = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_f \cdot U^{C_n}$$

ahol:

$U$  – sebesség, m/s,  
 $C_f$  – nyomásveszteségi tényező,  
 $C_n$  – sebességi kitevő.

Töltelék esetén, ha az ideálisan gömbalakú szemcséket tartalmaz, akkor a felület/térfogat aránya az alábbi egyszerű összefüggéssel határozható meg:

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{\pi \cdot D_p^3 / 6} = \frac{6}{D_p}$$

ahol

$A_p$  – a töltet felülete, m<sup>2</sup>,  
 $V_p$  – a töltet térfogata, m<sup>3</sup>,  
 $D_p$  – a töltet jellemző mérete, m.

Abban az esetben, ha a töltet nem ideálisan gömb alakú, szükséges bevezetni egy alaktényezőt, melyet az alábbiak szerint értelmezünk:

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{6}{\Phi D_p}$$

ahol  $\Phi$  az alaktényező.

A nyomásveszteség töltetes esetben a Carman-féle (Chemical Engineering Handbook, 1968) összefüggés szerint:

$$\Delta p = \frac{6 \cdot f \cdot U^2 \cdot \rho_F \cdot (1 - \epsilon)}{\Phi \cdot D_p \cdot \epsilon^3}$$

Az  $f$  ellenállástényezőt az alábbiak szerint értelmezhetjük:

$$f = \begin{cases} \frac{5}{Re} & \text{ha } Re < 2 \\ \frac{5}{Re} + \frac{0,4}{Re^{0,1}} & \text{ha } Re > 2 \end{cases}$$

A Reynolds-szám értelmezése:

$$Re = \frac{\Phi \cdot D_p \cdot U \cdot \rho_F}{6 \cdot (1 - \epsilon) \cdot \mu_F}$$

ahol

$\rho_F$  – a folyadék sűrűsége, kg/m<sup>3</sup>,  
 $\epsilon$  – porozitás  
 $\mu_F$  – folyadék dinamikai viszkozitása, Pas.

A töltelék reaktorban a falon keresztül hőközlés történik, így szükséges definiálni a hőátviteli tényezőt. Thodos (Chemical Engineering Handbook, 1968) összefüggése szerint:

$$h = \frac{0,725 \cdot C_{PF} \cdot \rho_F \cdot U}{Pr^{2/3} [(D_p \cdot \rho_F \cdot U / \mu_F) - 1,5]}$$

ahol

$C_{pF}$  – állandó nyomáson vett fajhő, J/(kg · K)  
Pr – Prandtl-szám.

A töltelékként alkalmazott pasztillahenger magassága 5 mm, átmérője 5 mm. Az alaktényező értéke 0,874. A hengeres pasztillákból álló töltethalmaz elméleti porozitása meghatározható az alábbi közelítéssel (Rolland et al., 2019):

$$\epsilon = 0,315 + 0,0244 \cdot \frac{L_p}{d_p} + 0,141 \cdot \frac{L_p}{d_p}$$

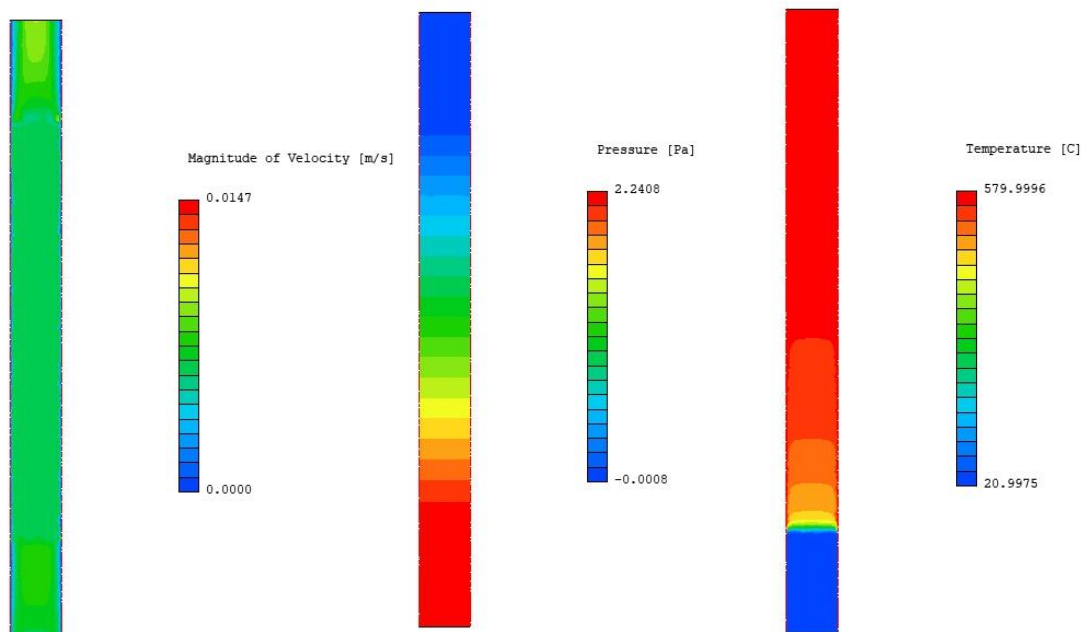
ahol

$L_p$  – a pasztilla magassága, m,  
 $d_p$  – a pasztillahenger átmérője, m.

A fenti összefüggéssel meghatározott elméleti porozitás értéke 0,48.

Az alaktényező és porozitás ismeretében a numerikus áramlástani modellben így már lehetőség van a porózus térrész vizsgálatára. Peremfeltételként a reaktorba belépő közeg nyomását 40 bar-ra, hőmérsékletét 20 °C-ra vettük fel. A reaktor külső fűtéssel rendelkezik, így a reaktor köpenyét 580 °C-ra állítottuk be. Belépési tömegáramnak 0,6 kg/h értéket vettünk fel, mely 60% H<sub>2</sub>, 30% CO és 10% CO<sub>2</sub>-t tartalmazott. A sűrűséget, viszkozitást, hővezetési tényezőt és a fajhőt lineárisan közelítettük a hőmérséklet függvényében. A gázelegy moltömegét 14,01 kg/kmol-nak feltételeztük. Az 5. ábrán mutatjuk be a szimuláció során kapott eredményeket.

Az eredményekből egyértelműen megállapítható, hogy a reaktorban történő átáramlás során elhanyagolható mértékű nyomásváltozás alakul ki. A porózus részben is közel homogén hőmérsékleteloszlás valósul meg, így feltételezhetően a kémiai reakciók is maradéktalanul végbemennek.



5. ábra. CFD-eredmények (sebességeloszlás, nyomáseloszlás, hőmérsékleteloszlás)

## 4. Szilárdsági méretezés

Ahogy az előzőekben bemutattuk, a technológiai paraméterek (nyomás és hőmérséklet) változtatása jelentős hatással van a reakció kimenetelére. Ezek a jellemzők a készüléktervezés során is alapadatként szolgálnak. A vizsgálatunk tárgyául szolgáló metanol reaktor tervezését az EN 13445 szabványcsalád szerint végezzük el, mint bármilyen másik nyomástartó edény méretezését. A továbbiakban részletesen kitérünk a legfontosabb mérnöki megfontolásokra. Az üzemi nyomás 40 bar, az üzemi hőmérséklet 300 °C, ehhez kell tervezési jellemzőket választani. Akkor járunk el helyesen, ha az üzemi értékekhez képest nagyobb értékekre választjuk a tervezési jellemzőket, így hagyva biztonsági tartalékot, vagyis a tervezési nyomás legyen 50 bar, a tervezési hőmérséklet pedig 320 °C.

### 4.1. Alapanyag-választás

A méretezési eljárás során első fontos döntésként a megfelelő alapanyagot kell kiválasztani. Ezt az anyagkiválasztást három tényező befolyásolja: a nyomás, a hőmérséklet és a közeg tulajdonságai. A vizsgált esetben ausztenites acélt alkalmazunk, mert rugalmas-képlékeny tulajdonságokkal rendelkezik, de könnyen alakítható és hegeszhető.

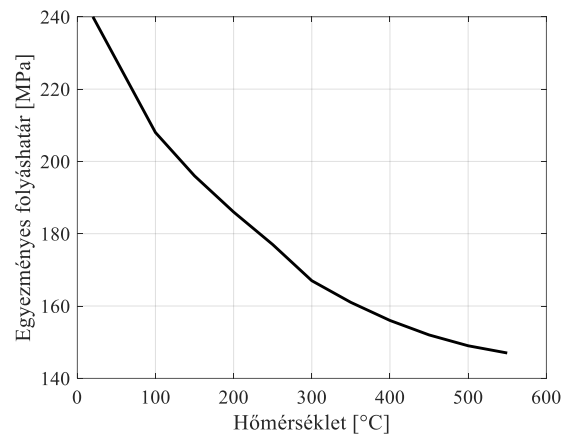
A mechanikai viselkedés szempontjából három hőmérséklet-tartományt különböztetünk meg: a negatív, a közepes és a nagy hőmérsékletek tartományát. A negatív hőmérsékletek tartománya a Celsius-skála alapján értelmezendő. Itt jellemzően a szívós viselkedést kell ellenőriznünk, mely az ütőmunka értékével végezhető el. A közepes hőmérsékletek tartományában a rugalmas és képlékeny viselkedés tapasztalható, a nagy hőmérsékleteknél pedig a kúszás jelenségét kell vizsgálni. Utóbbi két tartomány határvonala acéltípustól függ, de ez a 320 °C-os tervezési hőmérséklet nem szolgáltat elegendő energiát a kúszás kialakulásához, így kijelenthető, hogy a berendezés a közepes hőmérsékletek tartományában fog működni. Itt elegendő a folyáshatár és a szakítószilárdság értékének meghatározása.

A legfontosabb szempontot azok a reakciók jelentik, melyek a technológiai közeg és a szerkezeti anyag között lejátszódhatnak, és melyet általánosan korrózióknak nevezünk. Ezek közül a felületi korróziót tekinthetjük a legkevésbé veszélyesnek, mert egy ismert korróziósebesség mellett a várható élettartamot is megbecsülhetjük, és a reakcióban keletkező anyag közül egyik sem reagál sem a szénacélokkal, sem az ausztenites acélokkal. A hidrogénkorrózió sem jelent veszélyt, hiába lesz jelen atomi hidrogén a reaktorban, mivel az üzemi nyomás és a hőmérséklet értéke nem elegendő ennek végbemeneteléhez. Megfelelő geometriai tervezéssel a réskorróziós veszélytől is eltekinthetünk. A döntő érvet a feszültségkorrózió jelenti, mely szénacél esetén kialakul a metanolszintézis közben.

Mindhárom tényezőt figyelembe véve a választásunk az 1.4541 jelzésű ausztenites acélra esett. Ez az ötvözet egy titánnal stabilizált ötvözet, mely fokozottan ellenáll a szemcseközi és feszültségkorrózióknak. A titán megakadályozza a krómkarbid képződését, mivel nagyobb affinitása van a karbonhoz, mint a krómnak. Korrózióállóság tekintetében az 1.4401 és az 1.4301 anyagokkal egyenrangú, viszont sokkal jobb kúszási és feszültségrepedési tulajdonságokkal rendelkezik.

A választott 1.4541 típusú acél egyezményes folyáshatárának ( $R_{p1,0}$ ) hőmérséklettől való függését a 6. ábra mutatja.



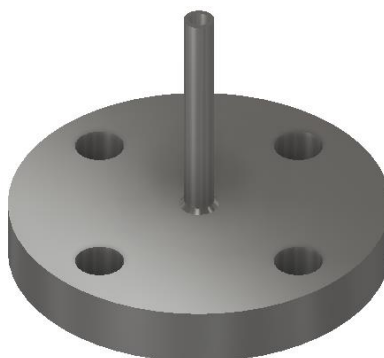


6. ábra. Az 1.4541 acélminőség egyezményes folyáshatárának változása a hőmérséklet függvényében.

## 4.2. Geometriai méretek

A geometriai méreteket a technológiával összhangban kell meghatározni úgy, hogy a berendezések építésének költsége összhangban legyen a teljes költséggel. Annak érdekében, hogy ezeket a költségeket a lehető legkisebb értékre csökkentsük, a kereskedelmi forgalomban kapható méreteket választottunk. Az átmérőt az áramlási sebesség és a betöltésre kerülő katalizátor mennyisége befolyásolta, melyhez 48,3 mm külső méret és 2,9 mm falvastagság lett kiválasztva.

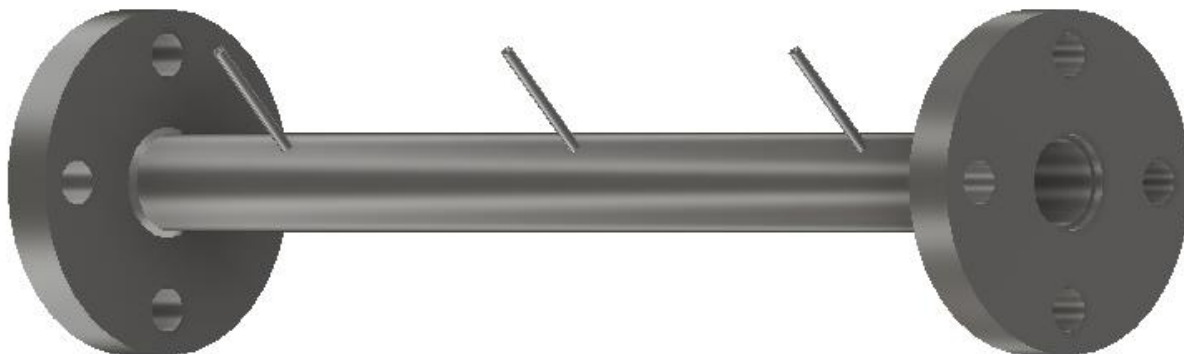
A csatlakozó csővezetékek azonban sokkal kisebb méretűek ( $\text{Ø}6 \times 1$ ), így olyan csatlakozó elemet kellett választani, mely a két átmérő között kapcsolatot tud teremteni. Ezt a funkciót a kúpos héj tudja betölteni, jelen esetben ez további problémákat okozott volna. Elsőként a nagyobb átmérőn a henger és a kúp csatlakozásának környezetét kell vizsgálni. Mivel a hengeres héj önmagában is 81%-os kihasználtsággal bír, a geometria változása járulékos feszültségeket fog indukálni, továbbá a hegesztések miatt további geometriai és anyagszerkezeti problémákkal kell szembenézni. A szűkítő funkciót nem lehet elérni egyetlen kúp alkalmazásával, mivel túlságosan nagy a két átmérő különbsége, továbbá a katalizátortorcseré miatt szükséges a szerelhetőséget is biztosítani. Ezen megfontolásokat figyelembe véve a hengeres köpenyre lapos karimát hegesztéssel rögzítünk, ennek ellendarabjaként pedig egy módosított vakkarima szolgál, melynek középpontjában elkészítettünk egy  $\text{Ø}6$  mm-es furatot, melyhez illeszkedik a csatlakozó csővezeték (7. ábra).



7. ábra. A módosított vakkarima

Ezt a módosított konstrukciót végeeselemes analízissel is vizsgáltuk. A kis átmérőnek köszönhetően a csővezeték falában 10 MPa-nál kisebb Mohr-szerinti redukált feszültség ébred, ami a megengedett feszültségtől sokkal kisebb érték, így biztonságosan alkalmazható.

A berendezést külső elektromos fűtéssel is el kell látni, melyet fűtőszálak segítségével értünk el. Az érintésvédelem miatt egy külső burkolattal is el kellett látni a héjat. A berendezés látványtervét a 8. ábra mutatja.



8. ábra. A reaktor konstrukciós modellje a külső borítás nélkül

További fontos szempont volt az, hogy a katalizátorhalmaz a reaktorban maradjon. A berendezés függőleges helyzetű, így az alsó részen a gravitáció ellen, a felső részen pedig az áramlás hatása ellen kell valamilyen szerkezeti elemet beépíteni. Ennek a szerkezeti elemnek teherviselő funkciót nem kell ellátnia, gyakorlatilag csak a korrózióknak kell ellenállnia.

A leírt feltételek mellett a hengeres héj 80,7%-os kihasználtsággal bír üzemi állapotban, míg 86,7 bar próbanyomás mellett 26,6% kihasználtságot kaptunk. A karimák esetén munkaléces kialakítást feltételeztünk, lapos tömítéssel, melynek külső átmérője 82 mm, szélessége 30 mm, tömítési tényezője 1,0 és tömítési szilárdsága 1,4 MPa. Szabványos DN40PN63 vakkarimát alkalmazva üzemi állapotban a maximális kihasználtság 52%, szerelési állapotban pedig 92%. A rendszer többi eleme annyira kis hőmérsékleten üzemel és annyira kis szabványosított geometriai mérettel jellemezhető, hogy nem szükséges az ellenőrzést elvégezni.

## 5. Összefoglalás

Megállapítható, hogy a metanolvergés során a reaktorban alkalmazott nyomás és a reaktoredény térfogata hatással van a végbemenő reakció konverziós fokára, azonban a hőmérséklet változtatása nem befolyásolta a reakció kimenetelét. Jelen tanulmány egy elméleti metanolszintézis folyamatát mutatja be. Továbbiakban kísérleti berendezés segítségével kívánunk méréseket végezni és a kinetikus reakció felírásához szükséges Arrhenius konstansokat meghatározni, majd szimuláció segítségével ezeket ellenőrizni.

Az áramlási szimulációk eredményeiből megállapítható, hogy nyomásváltozás szinte nem tapasztalható a készülékben, a pórus részben homogén hőmérsékleteloszlás tapasztalható. Tehát ebből arra következtethetünk, hogy a kémiai reakció is végbe megy.

A szilárdsági méretezés egyik nehézségét az jelentette, hogy a reaktort és a csatlakozó csővezetékeket össze lehessen kötni. Ehhez a kúpos kialakítás megoldást jelentett volna, azonban a geometriai változás okozta járulékos feszültségek kialakulása, illetve a szerelhetőség biztosítása miatt ez elvetésre került. Kialakításra került egy olyan konstrukció, amely ezen problémára megoldást jelent.

### Köszönetnyilvánítás

A tématerületi kutatás a Miskolci Egyetem *Társadalmi hasznosság növelő fejlesztések a hazai felszín alatti természeti erőforrások hatékonyabb kiaknázása és hasznosítása területén* című, az Innovációs és Technológia Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által kibocsátott támogatói okirat (Támogatói Okirat ikt. száma: TKP-17-1/PALY-2020) alapján zajló projektje részeként valósult meg.

### Irodalom

- [1] Tungler, A. (2019). *A metanol szintézis*. Előadásvázlat, MTA Energiatudományi Kutatóközpont, [http://kkft.bme.hu/attachments/article/65/2019%20PK\\_5%20Metanolszint%C3%A9zis%2019\\_10\\_09.pdf](http://kkft.bme.hu/attachments/article/65/2019%20PK_5%20Metanolszint%C3%A9zis%2019_10_09.pdf)
- [2] Peter, M. et al. (2012). Detailed kinetic modeling of methanol synthesis over a ternary copper catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 203, pp. 480–491. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.06.066>
- [3] Borisut, P., Nuchitprasittichai, A. (2020). Process configuration studies of methanol production via carbon dioxide hydrogenation: Process simulation-based optimization using artificial neural networks. *Energies*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/en13246608>
- [4] *Chemical engineering handbook*. Fifth edition. The Society of Chemical Engineers Japan, 1968, pp. 134–229.
- [5] Rolland, M., Rakotonirina, A. D., Devouassoux, A., Goicetty, J. L. B., Delenne, J.-Y., et al. (2019). Predicting average void fraction and void fraction uncertainty in fixed beds of poly-lobed particles. *Industrial and Engineering Chemistry Research, American Chemical Society*, 58(9), 3902-3911. [ff10.1021/acs.iecr.8b05557ff. fahal-02090443.](https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b05557)  
<https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b05557>