

Miskolci Egyetem

Anyag- és Vegyészmérnöki Kar

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola

Doktori Iskola vezetője: Dr. Mertinger Valéria, az MTA doktora, Dr. habil.;
egyetemi tanár



**ÖNTÖDEI FORMÁZÓ- ÉS MAGHOMOKKEVERÉKEK
GÁZÁTERESZTŐ KÉPESSÉGÉNEK ÉS SZILÁRDSÁGI
TULAJDONSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ÚJSZERŰ MINŐSÍTŐ
MÓDSZER ALAPJÁN**

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISFÜZET

Hudák Henrietta

okleveles kohómérnök

Tudományos vezető:

Dr. Varga László

egyetemi docens

Miskolc

2022

I. BEVEZETÉS, AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSEI

Az öntödei formák és a homokmagok általában három főösszetevőből állnak, amelyek a következők; *tűzálló szemcsés anyag*, amely jellemzően homok, *kötőanyag*, ami összeköti a homokszemcséket, illetve *adalékanyag*, ami a jellemző tulajdonságokat javítja. A jobb felületi minőségű, egyre komplexebb öntvények iránti növekvő vevői igény teszi szükségessé az alternatív formázó- és maghomokkeverékek alapanyagának kifejlesztését, ezenkívül korlátozott a természetes, magas tisztaságú kvarchomok elérhetősége. A kvarchomok széleskörű elterjedésének, valamint viszonylagos alacsony árának köszönhetően a formázáshoz és a magkészítéshez leggyakrabban alkalmazott homoktípus. Az alaphomok vizsgálatok során – melyek kvarchomok méréseken alapulnak – az eltérő sűrűség gondot okozhat a különböző homoktípusok összehasonlítása esetén. Ennek oka az egyre elterjedtebb speciális vagy mesterséges homokok, melyek anyagsűrűsége nagyon különböző lehet.

A megfelelő minőségű öntvények előállítására érdekében a formázóanyagok és maghomokkeverékek minőségének folyamatos ellenőrzése szükséges. A korszerű öntvénygyártás nemcsak magának a formázási és a magkészítési technológiának a fejlesztését követeli meg, hanem ezen technológiák minősítésének újítását is. A disszertációmban kidolgozott minőségi mutatószámok segítségével a különböző típusú alaphomokból felépülő homokmagok vagy formák öntészeti szempontból fontos tulajdonságainak komplexebb összehasonlítását tűztem ki célul.

Doktori kutatómunkám fő célja egy új minősítő módszer kidolgozása, amely alkalmazásával a homokmagok tulajdonságai összességében jellemezhetőek. Az általam kidolgozott minősítés alkalmazásával az eltérő granulometriai szerkezetű, eltérő felületi minőségű vagy eltérő anyagsűrűségű alaphomokból készített próbatestek gázáteresztő képességének, illetve szilárdsági tulajdonságainak részletesebb összehasonlítása és minősítése lehetséges. A doktori kutatómunka vázlatát az 1. ábrán mutatom be.

PROBLÉMAFELVETÉS

- A vizsgálati eredmények összehasonlítása nehézségekbe ütközik nem azonos anyagsűrűségű szemcsés anyagok esetén.
- A homokmagok tulajdonságai, mind a homok granulometriai tulajdonságai, a kötőanyag mennyisége, a homokmag térfogatsűrűsége igen meghatározók. Azonban ezen tulajdonságokat a jelenlegi minősítő módszerek együttesen nem vagy alig definiálják, pedig a valós és pontos meghatározáshoz a homokmagra jellemző tulajdonságok komplexebb minősítése szükséges.

CÉLKITŰZÉS

Olyan újszerű minősítés bevezetése a cél, mellyel a homokmagok jellemző tulajdonságainak pontosabb minősítése lehetséges, amely komplexebben figyelembe veszi a homokmagot felépítő alaphomokra jellemző granulometriai tulajdonságokat (szemcsealak, szemcseméret, felületi minőség), valamint a homokmag tulajdonságokat (tömörítettség, térfogatsűrűség).

KUTATÓMUNKA

Különböző típusú öntődei homokok alkalmazása esetén a homokmagok gázáteresztő képességének és mechanikai szilárdsági tulajdonságainak vizsgálata.

VIZSGÁLATOK

Szitaanalízis
Képelemzés
Fajlagosfelület-mérés
Halomsűrűség-mérés
Térfogsűrűség-mérés
Hajlítószilárdság-vizsgálat
Gázáteresztőképesség-mérés
SEM felvételek

VIZSGÁLT ANYAGOK

- GBM 45 kvarchomok, SH 33 kvarchomok, Bauxithomok, J-homok.
- Nedves bentonitos homokkeverék, és fenol gyantás önkötő homokkeverék vizsgálata.

EREDMÉNYEK

- Modelleken/modellrendszereken keresztül a homokmagok komplexitásának és a minősítési nehézségeinek megállapítása.
- Az újfajta minősítő rendszer alapjául szolgáló minősítő számok és a homokmag tulajdonságok – gázáteresztő képesség – közötti összefüggések meghatározása.

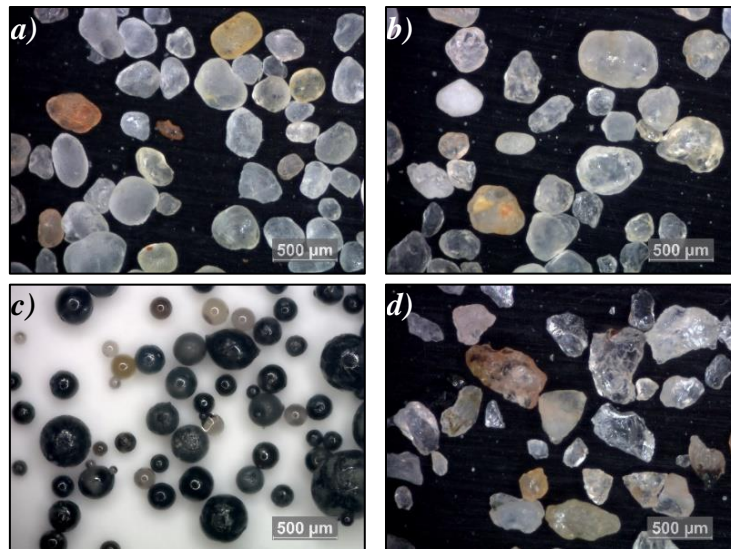
1. ábra: A doktori kutatómunka felépítése

II. AZ ALKALMAZOTT ALAPANYAGOK, BERENDEZÉSEK ÉS AZ ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK ÁTTEKINTÉSE

A doktori kutatómunkám során az általam elkészített próbatestek gázáteresztő képességet, valamint mechanikai szilárdságát vizsgáltam. Az eredményeket hagyományos úton és új minősítés szerint is kiértékeltem. A homokszemcsék alakja az egyik legfontosabb tulajdonságokat befolyásoló paraméter, ami a kötése erősségen túl lényegesen befolyásolja a keverék tömöríthetőségét és ezen keresztül a gázáteresztő képességét is. Ezért vizsgálataimhoz különböző szemcsealakokkal rendelkező homoktípusokat választottam. A kiválasztás egyik szempontja az volt, hogy a homokok alakjukban különbözzenek, de a közepes szemcseméretük közel azonos legyen. Ezáltal a különböző szemcsealakok gázáteresztő képességre gyakorolt hatását tudom kimutatni. Másrészt olyan homoktípusokat választottam, amelyek granulometriai tulajdonságok alapján nagyon hasonlóak, azonban felületi minőségükben különböznek. A másik igen fontos tényező pedig a szemcseméret. A szemcseméret eltérést pedig frakciókra (durva, közepes, finom) szitálással értem el. Így a heterogén szemcse szerkezet kedvezőtlen befolyásoló hatását is kizártam.

A vizsgált homokok bemutatása

A mérésekhez a GBM 45 típusú kvarchomokra esett a választás. Európában kizárólag a GIBA GmbH ausztriai cég forgalmazza. A kvarchomokot a BADGER MINING CORP. az USA-ban bányássza. Az európai kvarchomokokkal szemben számos előnye van, egységesebb felületi minőség és simább szemcsefelület mellett jó regenerálhatóság jellemzi. Választottam egy európai kvarchomokot, az SH 33 típust, melyet a sajdikove humence-i (Szlovákia) homokbányában fejtenek ki. A szemcsék kedvező alakja (erősen gömbölyített), ezáltal ebből a homokból készített homokmagok kötőanyagigénye igen alacsony, így használatuk gazdaságos. A további homoktípusok esetében speciális homokokat választottam, melyeket a Hüttenes Albertus Chemische Werke GmbH árusít. Az egyik a Bauxitsand W55, amely bauxithomok azáltal, hogy igen gömbszerű szemcsealakú, igen nagy mechanikai szilárdságot biztosít. A másik pedig a J-Sand, amely természetes ásványok keveréke 48,5%-ban földpátot tartalmaz, 47,5%-ban pedig kvarcot. A szemcse alakját tekintve szögletes. A vizsgálatokhoz alkalmazott homokok alakjának ellenőrzése céljából sztereomikroszkópos felvételek Zeiss Stemi 2000 típusú sztereomikroszkóppal készültek, amelyeket a 2. ábrán szemléltetnek.



2. ábra: A vizsgált GBM 45 kvarchomok (a), az SH 33 kvarchomok (b), a Bauxitsand W55 (c) és a J-Sand (d) sztereomikroszkópos felvétele ($N=20\times$)

A kiválasztott homoktípusok pontosabb összehasonlításához granulometriai analízist végeztem. Az öntödei homok szemcseméret-eloszlását Fritsch ANALYSETTE 3 PRO vibrációs szita segítségével határoztam meg. A granulometriai vizsgálatok eredményei alapján további mérőszámokat, mint például a közepes szemmagyságot, egyenletességi fokot, finomsági számot és a sarkossági tényezőt határoztam meg. Mértem a homokok halomsűrűségét, valamint a Blaine-féle készülékkel mért fajlagos felület értéküket. A kutatásom során alkalmazott öntödei homokok fajlagos felületének vizsgálatakor azt tapasztaltam, hogy a különböző anyagsűrűség esetén javasolt korrigált bemérendő tömeg önmagában nem elégséges a pontos vizsgálati eredmény eléréséhez. A szemcsés anyagok esetén mért fajlagos felület érték pontosításának céljából egy új, úgynevezett súlyozott fajlagos felület értéket dolgoztam ki.

A vizsgált keverékek bemutatása

A vizsgálataimhoz formázókeverékeket készítettem a két eltérő kvarchomok – GBM 45 és SH 33 – frakcióiból (durva: 540—300 µm, közepes: 300—200 µm és finom: 220—110 µm frakciókból). A különböző szemcseméret eléréséhez a kvarchomokokat a Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetben bontották frakciókra.

A keverékek azonos előállítási paraméterek mellett készültek, laboratóriumi keverőben szabványnak megfelelően készítve. A homokkeverékek elkészítéséhez a következő általános receptúrát alkalmaztam:

- 4% desztillált víz,
- 8% bentonit – BENTOPLAST 30.

(A keverékek sem karboadditívet, sem adalékanyagot nem tartalmaztak.)

A homokkeverékek elkészítését követően, légmentesen zárva tartva 1–2 óra várakozási idő után különböző számú döngölőütéssel (három, öt, hét és kilenc) készített szabványos (50 mm magas, 50 mm átmérőjű) hengeres próbatestek gázáteresztőképesség-vizsgálatát végeztem el.

A kutatómunkám során önkötő fenolgyantát alkalmaztam a műgyantakötésű homokkeverékek elkészítéséhez. A műgyantakötésű homokkeverékek esetében a kötőanyag mennyiségének megadása a homok tömegére vonatkoztatva történik. A homokkeverékek készítéséhez ebben az esetben az alábbi receptúrát használtam:

- 1% fenolgyanta (homok tömegére vonatkoztatva) – *Furtolit 4003*,
- 0,4% katalizátor (homok tömegére vonatkoztatva) – Härter RS 20.

Az önkötő fenolgyantás homokkeverékek elkészítését követően minél rövidebb idő alatt, valamint lehetőség szerint állandó hőmérsékletet tartva (körülbelül 20–22 °C) szabványos hengeres és hasáb alakú próbatesteket készítettem. Az elkészített homokkeverékeket 20 másodpercig történő 100, 300 és 500 N/cm² vagyis 1, 3 és 5 MPa nyomással Multiserw-Morek tömörítő berendezésével tömörítettem hengeres, illetve hasáb alakú próbatesteket. A hengeres próbatestek esetében megszilárdulást követően mértem a gázáteresztő képességüket, valamint a hasáb alakú próbatesteken hárompontos hajlítószilárdság-mérést végeztem a próbatestek elkészítését követően 30 perc, 1 óra és 24 óra elteltével. A szilárdsági eredmények esetében a próbatest készítését követő 1 órás szilárdsági értékeket választottam a kiértékelés alkalmazásához.

A gázáteresztő képesség vizsgálatának bemutatása

A gázáteresztő képességet DISA-típusú elektromos gázáteresztő képesség mérő berendezéssel mértem a szabványos Ø50×50 mm-es hengeres próbatesteken. A mérés során a próbatesten állandó nyomás mellett levegőt áramoltatunk át a mérőműszerbe épített kalibrált levegőátengedő nyíláson keresztül. Majd a kialakult nyomáskülönbség értékét az elektromos mérőkészülék átkonvertálja, és a gázáteresztő képesség a nyomásmérő megfelelő skálájáról közvetlenül leolvasható.

A hajlítószilárdság vizsgálatának bemutatása

A méréseimhez a Multiserw-Morek Universal Strength Testing Machine szilárdságvizsgáló berendezést használtam. Az elkészített szabványos hasáb alakú próbatestet a szilárdságvizsgáló berendezés két egymástól 150 mm távolságra lévő támaszára kell helyezni, majd az alátámasztási távolság felezőpontján egyenletesen növekvő erővel a próbatest eltöréséig kell terhelni. A berendezés a törés pillanatában a próbatest keresztmetszetére ható legnagyobb hajlító nyomatékot határozza meg. Ez a maximális hajlítószilárdság érték a berendezés digitális kijelzőjéről leolvasható.

III. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A kutatásom első felében két különböző típusú, méreetszerinti frakciókra bontott (durva frakció mérete: 540–300 μm , közepes frakció mérete 300–220 μm , valamint finom frakció mérete: 220–110 μm) kvarchomokok (GBM 45, SH 33) alkalmazásával bentonitkötésű formázókeverékekből készített próbatesteknek a gázáteresztő képességét vizsgáltam. Mindegyik homokkeverék készítése esetén azonos mennyiségű bentonitot és vizet alkalmaztam. A homokkeverékek összetétele 4% víz és 8% bentonit, karboadditívet és adalékanyagot pedig nem tartalmaztak. A szabványos, $\text{Ø}50 \times 50$ mm magas, hengeres próbatestek készítése különböző mértékű tömörítés (három, öt, hét és kilenc döngölő ütés) alkalmazásával történtek. A próbatesteken szabvány szerint döngölőhüvelyben mértem a gázáteresztő képességet, melyet a próbatestek térfogatsűrűségének és a homokmag minőség indexének függvényében vizsgáltam. Ezután méréseimet folytatva a GBM 45 típusú kvarchomok frakcióinak és különböző alaphomokok alkalmazásával műgyantakötésű maghomokkeverékekből készített próbatesteknek a gázáteresztő képességét vizsgáltam. A GBM 45 frakcióinak alkalmazása esetén és mind a négy általam választott homoktípus (GBM 45, SH 33, Bauxitsand W55 és J-sand) használta esetén azonos mennyiségű kötőanyagot alkalmaztam. A homokkeverékek összetétele 1 % önkötő fenolgyanta (a homok tömegére vonatkoztatva), 40 % savkatalizátor (a gyanta tömegére vonatkoztatva) volt. A szabványos, $\text{Ø}50 \times 50$ mm magas, hengeres próbatestek készítése különböző mértékű tömörítés (1, 3 és 5 MPa) alkalmazásával történtek. A próbatesteken szilárdulást követően mértem a gázáteresztő képességet, melyet a granulometriai komplex függvényében vizsgáltam.

Dolgozatom második részében a GBM 45 típusú kvarchomok frakcióinak alkalmazásával műgyantakötésű maghomokkeverékekből elkészített próbatesteknek 1 órát követően vizsgáltam a hajlítoszilárdságát. A vizsgált próbatestek előállítási paraméterei megegyeznek a gázáteresztő képesség méréshez használt próbatestekével. A hajlítoszilárdságot a próbatestek térfogatsűrűségének függvényében vizsgáltam.

1. Tézis. Kidolgoztam a szemcsés anyagok esetén mért fajlagos felület érték pontosításának céljából egy új, úgynevezett súlyozott fajlagos felület értéket. A szemcseméret-eloszlásának figyelembevételével javaslom az öntödékben alkalmazott homokok Blaine-féle készülékkel mért fajlagos felület értékének meghatározását. A súlyozott fajlagos felület az alábbi egyenlettel írható le:

$$F_{súlyozott} = \left(\frac{m_F \cdot F_{vF}}{100} \right) + \left(\frac{m_K \cdot F_{vK}}{100} \right) + \left(\frac{m_D \cdot F_{vD}}{100} \right) \quad (1)$$

ahol, $F_{súlyozott}$ a súlyozott fajlagos felület [cm^2/g], m_F a finom frakció (250 – 100 μm) mennyiség aránya szitaanalízis alapján [g], F_{vF} a finom frakció (250 – 100 μm) mért fajlagos felülete [cm^2/g], m_K a közepes frakció (355 – 250 μm) mennyiség aránya szitaanalízis alapján [g], F_{vK} a közepes frakció (355 – 250 μm) mért fajlagos felülete [cm^2/g], m_D a durva frakció (630 – 355 μm) mennyiség aránya szitaanalízis alapján [g], F_{vD} a durva frakció (630 – 355 μm) mért fajlagos felülete [cm^2/g].

2. **Tézis.** A homokmagok és a formák „belső” felületi és térfogati viszonyainak egy mérőszámban történő alkalmazására bevezettem a homok modul értéket. A Homok Modul (SM: Sand Module) értéke az adott homokmagon belül megadja a homokmagot felépítő homok össztérfogatának és a homok felületének az arányát. A homok modul értéke a következő képlettel határozható meg:

$$SM = \frac{V_{HOMOK}}{A_{HOMOK}} \quad (2.1)$$

ahol, SM a homok modul [cm], V_{HOMOK} az adott magrészben vagy a magban található homok térfogata [cm^3], A_{HOMOK} az adott magrészben, vagy a magban található homok teljes felülete [cm^2].

A SM értéke figyelembe veszi az anyagsűrűséget, így használatával lehetőség nyílik a különböző alaphomokokból készült homokmagok tulajdonságainak pontosabb összehasonlítására. Számítása történhet az alábbi képlettel is:

$$SM = \frac{1}{(F_v \cdot \rho)} \quad (2.2)$$

ahol, SM a homok modul [cm], F_v a homok mért fajlagos felülete [cm^2/g], ρ a homok sűrűsége (anyagsűrűség) [g/cm^3].

3. Tézis. A homokmagok és a formák tulajdonságainak pontosabb leírásához a granulometriai tulajdonságok és a térfogatsűrűség egyszerre történő kezelése és jellemzése szükséges egy mérőszámban, ezen jellemzők együttes használatára dolgoztam ki a Homokmag Minőségindex (CQ_i : Core Quality Index) értéket. Számítása a következő képlettel történik:

$$CQ_i = \frac{P\%}{SM} \quad (3)$$

ahol, CQ_i a homokmag minőségindex [-], $P\%$ a homokmagban található pórusmennyiség [%], SM a homok modul [cm].

A CQ_i használata az alábbi peremfeltétellel javasolt:

Olyan homokmagok és formák esetén alkalmas összehasonlító minősítő mutató, amelyeket felépítő öntödei alaphomokok alakbeli eltéréseben nincs jelentős különbség, valamint a homokok fajlagos felület értékében nincs nagy eltérés.

4. Tézis. Megállapítottam, hogy nedves bentonitos és műgyantakötésű homokkeverékekből készített próbatestek vizsgálata esetén a homokmag minőségindex növekedésével lineárisan csökken a próbatestek mért gázáteresztő képessége. A különböző kvarchomokok eltérő frakcióinak alkalmazásával készített bentonitos kötésű próbatestek gázáteresztő képessége és a homokmag minőségindex közötti összefüggést különböző tömörítés esetén a következő egyenletek írják le:

3 ütéses tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -15,16 \cdot CQ_i + 327,72 \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0,92$$

5 ütéses tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -12,43 \cdot CQ_i + 258,47 \quad (4.2)$$

$$R^2 = 0,93$$

7 ütéses tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -12,36 \cdot CQ_i + 240,47 \quad (4.3)$$

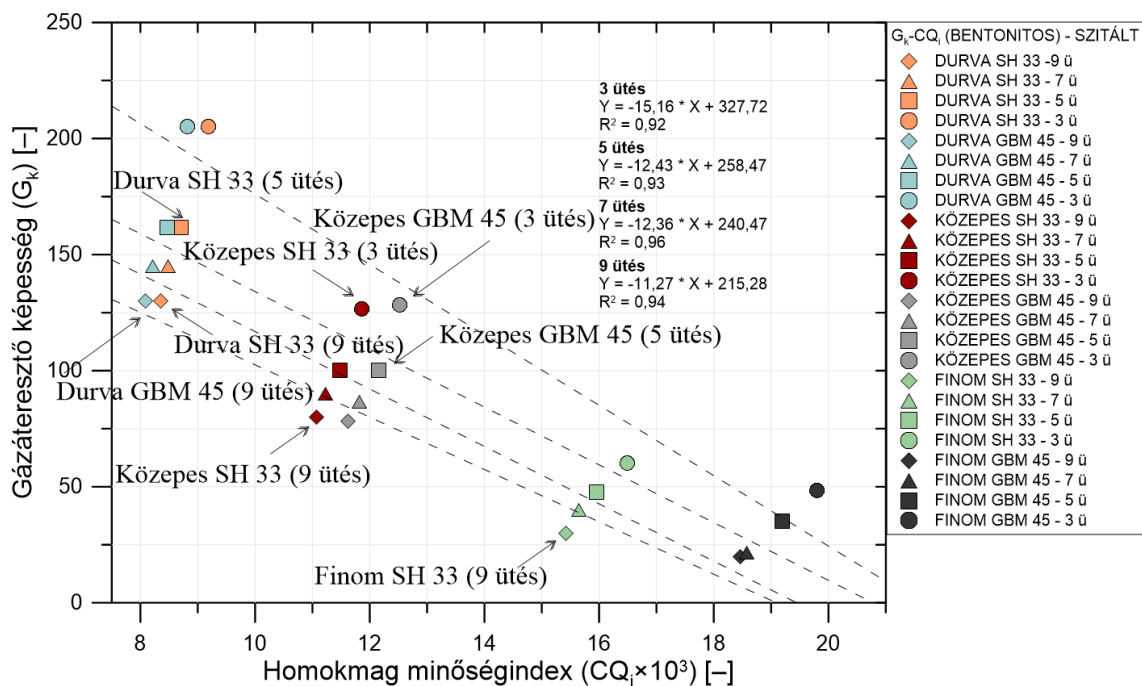
$$R^2 = 0,96$$

9 ütéses tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -11,27 \cdot CQ_i + 215,28 \quad (4.4)$$

$$R^2 = 0,94$$

ahol, G_k a gázáteresztő képesség [-], CQ_i a homokmag minőségindex [-].



3. ábra: A vizsgált nedves bentonitos homokkeverékekből készített próbatestek mért gázáteresztő képessége a homokmag minőségindex (CQ_i) függvényében

A GBM 45 kvarchomok különböző frakcióinak alkalmazásával készített műgyanta kötésű próbatestek gázáteresztő képessége és a homokmag minőségindex közötti összefüggést különböző tömörítés esetén a következő egyenletek írják le:

1 MPa tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -35,26 \cdot CQ_i + 912,11 \quad (4.5)$$

$$R^2 = 0,98$$

3 MPa tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -37,68 \cdot CQ_i + 911,80 \quad (4.6)$$

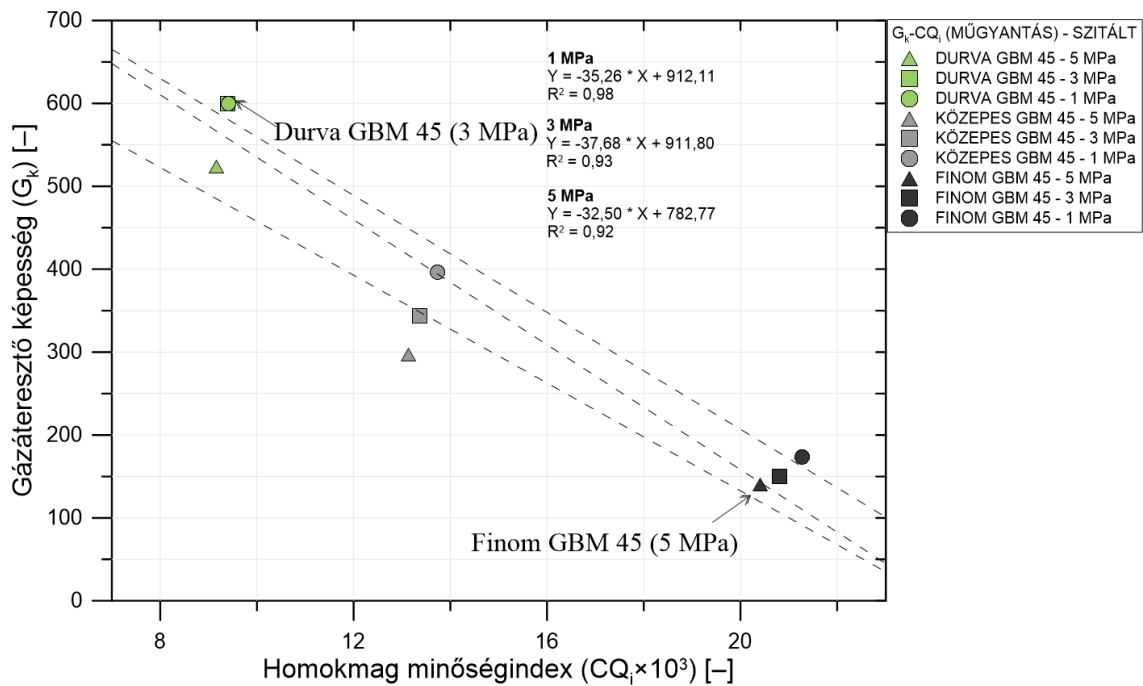
$$R^2 = 0,93$$

5 MPa tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -32,50 \cdot CQ_i + 782,77 \quad (4.7)$$

$$R^2 = 0,92$$

ahol, G_k a gázáteresztő képesség [-], CQ_i a homokmag minőségindex [-].



4. ábra: A vizsgált műgyantakötésű homokkeverékekből készített próbatestek mért gázáteresztő képessége a homokmag minőségindex (CQ_i) függvényében, különböző frakciókra bontott GBM 45 homoktípus esetén

5. **Tézis.** Mérési eredményeim alapján szemcsés rendszerek komplexebb minősítésének érdekében bevezettem egy olyan minőségi mutatót, amely mérőszám a homokok granulometriai jellemzőiket együttesen tartalmazza, ez a szám a Granulometriai Komplex (CG: Complex of Granulometry). A CG az öntödei homokok granulometriai tulajdonságait, úgymint a finomsági számot, az egyenletességi fokot és a sarkossági tényezőt összesíti. Számítása az alábbi képlettel lehetséges:

$$CG = \frac{E_f \cdot F_{sz}}{S} \quad (5)$$

ahol, CG a granulometriai komplex [-], F_{sz} a homok finomsági száma [-], E_f a homok egyenletességi foka [%], S a homok sarkossági tényezője [-].

6. Tézis. Megállapítottam, hogy különböző alaphomokok alkalmazása esetén műgyantakötésű homokkeverékekből készített próbatestek vizsgálata során a granulometriai komplex növekedésével lineárisan csökken a mért gázáteresztő képesség értéke. A próbatestek mért gázáteresztő képessége és az alaphomokok granulometriai komplexe közötti összefüggést különböző tömörítés esetén a következő egyenletek írják le:

1 MPa tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -25,76 \cdot CG + 863,72 \quad (5.1)$$
$$R^2 = 0,99$$

3 MPa tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -25,57 \cdot CG + 834,72 \quad (5.2)$$
$$R^2 = 0,97$$

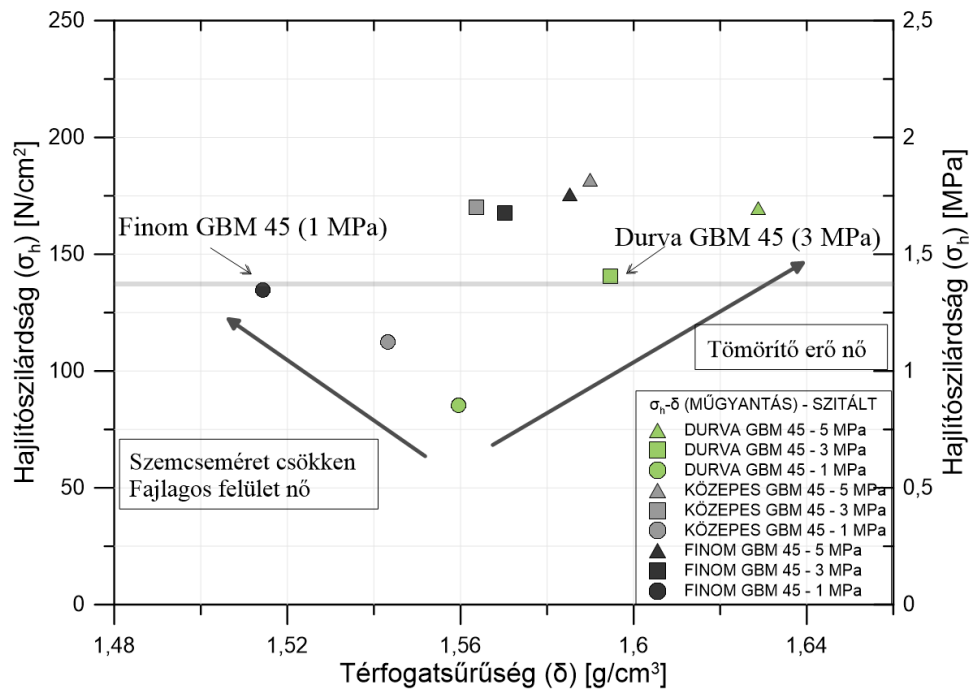
5 MPa tömörítés alkalmazása esetén:

$$G_k = -23,57 \cdot CG + 780,53 \quad (5.3)$$
$$R^2 = 0,99$$

ahol, G_k a gázáteresztő képesség [-], CG a granulometriai komplex [-].

7. Tézis. A vizsgált GBM 45 típusú kvarchomok frakcióiból azonos előállítási paraméterekkel, 1 MPa-os tömörítés alkalmazása esetén készített műgyantakötésű próbatestek 1 óra pihentetést követően mért hárompontos hajlítoszilárdsága növekszik az alkalmazott alaphomok fajlagos felületének növekedésével. A növekmény oka a próbatestek készítéséhez alkalmazott alaphomok szemcseméret-csökkenéséből adódó fajlagosfelület-növekedés, ami a térfogatsűrűség-csökkenést eredményezi.

Az elméleti modell, valamint a mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a nagyobb fajlagos felületű alaphomok alkalmazásakor nincs szükség több kötőanyagra azonos szilárdság eléréséhez, mint a kisebb fajlagos felületű homok alkalmazása esetén.



5. ábra: A vizsgált műgyantakötésű homokkeverékekből készített próbatestek 1 óra pihentetést követően mért hajlítószilárdsága a térfogatsűrűség (δ) függvényében, különböző frakciókra bontott GBM 45 homoktípus esetén

IV. ÖSSZEFOGLALÁS, AZ EREDMÉNYEK FELHASZNÁLHATÓSÁGA

A kutatómunkám első részében bemutattam a *súlyozott fajlagos felület* értéket, amely érték a szemcsés anyagok esetén mért fajlagos felület pontosítására szolgál. Majd a továbbiakban kétdimenziós elméleti modellek segítségével kidolgoztam a *homok modul* és a *homokmag minőségindex* mutatószámokat, majd valós – háromdimenziós – mérésekkel igazoltam ezen számok használhatóságát. A legfejlettebb öntödékben támasztott sokrétű követelményeknek, valamint a 3D nyomtatással történő homokmaggyártás terjedésének köszönhetően egyre gyakoribb a szintetikus és a mesterségesen előállított homokok használata. Az öntödei homokok különböző anyag típusainak esetében a vizsgálati eredmények összehasonlíthatóságát megnehezíti a különböző anyagsűrűség, mivel a mérések többsége tömegmérésen alapul. A homok modul értéke kiküszöböli ezt a problémát, ugyanis az alaphomokok összehasonlítása a mérőszám segítségével nem anyagsűrűség független. Vizsgálati eredményeim segítségével egy-egy homoktípus esetében meghatároztam a gázáteresztő képesség és a homokmag minőségindex közötti összefüggéseket. Különböző homoktípusok vizsgálatára kifejlesztettem a *granulometriai komplex* minőségi mutatószámot. A granulometriai komplex minőségi mutató segítségével előre jelezhető a gázáteresztő képesség értéke. A granulometriai komplex az a mutató, amely a homokmagot felépítő alaphomok tulajdonságokat jellemzi, ezáltal a homokmag tulajdonságait befolyásoló tényezőket pontosabban figyelembe veszi. Ellenben a homokmag minőségindex, amely érték magán a homokmag teljes egészén, vagy a homokmagból kivett mintákon megmérhető, így homokmagon belüli összehasonlításra is alkalmas.

A kutatómunkám második részében homokmagok hajlítószilárdság vizsgálatának kiértékelését mutattam be a térfogatsűrűség függvényében. Azonos homoktípus eltérő szemcseméretű frakcióiból készített műgyantakötésű homokkeverékekből azonos gyártási paraméterek mellett előállított próbatestek hajlítószilárdsági vizsgálatának eredményei alapján cáfoltam meg korábbi megállapítást, valamint elméleti modell alapján tett megállapítást igazoltam.

V. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Henrietta Hudák, Gábor Gyarmati, László Varga: *Investigation on the Effect of Granulometric Features on the Permeability of No-Bake Resin Bonded Sand Cores*, ARCHIVES of FOUNDRYENGINEERING, Vol. 21, Issue 2/2021, pp. 99–105. (2021), doi:10.24425/afe.2021.136105

Hudák Henrietta, Varga László: *Bentonitos homokkeverékek granulometriai tulajdonságainak és gázáteresztő képességének vizsgálata*, Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat, 2021/3-4. szám, 6 pp. 16–21. (2021)

Hudák Henrietta, Varga László: *Effect of the Changes in Bulk Density and Granulometric Properties on the Strength Properties of the Moulding Sand Mixtures*, International Journal of Advanced Scientific Technologies in Engineering and Management Sciences 5 pp. 116–122. (2020)

Hudák Henrietta, Varga László: *Examination of correlation between the granulometric properties of molding and core sand mixtures and their production parameters*, IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING 903 Paper: 012060 (2020), doi:10.1088/1757-899X/903/1/012060

Hudák Henrietta, Varga László: *The Granulometric Features and Permeability Examination of No-Bake Resin Bounded Sand Cores*, MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING: A PUBLICATION OF THE UNIVERSITY OF MISKOLC 45 : 1 pp. 153–162. , 10 p. (2020)

Hudák Henrietta, Varga László: *The Strength Properties Investigation of Chemically Bonded Sand Mixtures*, MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING: A PUBLICATION OF THE UNIVERSITY OF MISKOLC 44 : 1 pp. 40–49. , 10 p. (2019)

Hudák Henrietta, Dr. Varga László: *Különböző öntődei homokok granulometriai tulajdonságainak vizsgálata*, XXI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia Nagybánya, Románia : EMT, (2019) pp. 76–81. , 6 p.

Hudák Henrietta, Varga László: *The strength properties of chemically bonded sand mixtures*, Multiscience XXXII. MicroCAD International Multidisciplinary Scientific Conference Miskolc-Egyetemváros, Magyarország : Miskolci Egyetem (2018) pp. 1–8. Paper: B/11 , 8 p.

Hudák Henrietta, Varga László: *Különböző granulometriai tulajdonságú homokkeverékek szilárdsági tulajdonságainak vizsgálata bentonitos formázókeverékek esetén*, XX. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia Gyulafehérvár, Románia: Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2018) 212 p. pp. 63–67. , 5 p.