Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék
Vásárhelyi Pál Építőmérnöki és Földtudományi Doktori Iskola

Farkas Dávid

Próbaszivattyúzás folyamatának és hatásainak vizsgálata terepi és laboratóriumi körülmények között

Doktori értekezés tézisfüzet

Tudományos vezető: Dr. Hajnal Géza

Budapest, 2021. július 15.

A KUTATÁS MOTIVÁCIÓJA

Mélyépítési mérnöki munkák elvégzéséhez nélkülözhetetlen az adott területre jellemző talajfizikai paraméterek értékeinek, mint például a szivárgási tényezőnek az ismerete, melyet terepi mérésekkel vagy laboratóriumi vizsgálattal határozhatunk meg. A talajmintákon végzett laboratóriumi kísérletek (ödométeres, triaxiális vagy szemeloszlási vizsgálatok) egyszerűen és olcsón elvégezhetők, viszont hátrányuk, hogy a mintavétel pontszerű, emiatt a vizsgálat csak egy kisebb területről nyújt releváns információt. A terepi mérések előnye, hogy in situ állapotban vizsgálhatók a talajfizikai paraméterek, így pontosabb eredményeket szolgáltatnak, végrehajtásuk azonban idő-, felszerelés- és költségigényesebb. Ezek egyike a mérnöki gyakorlatban széles körben elterjedt próbaszivattyúzás-vizsgálat, mellyel a vízadórétegről, illetve a tesztelt anyakútról egyaránt nyerhetünk mérnöki szempontból értékes információkat.

A kismintamodellezés egy olyan vizsgálati módszer, mellyel különböző hidrodinamikai jelenségek laboratóriumi körülmények között, kicsinyített formában figyelhetők meg. A kifejezetten szivárgás- és kúthidraulikai mérések elvégzésére fejlesztett kismintamodellek használata több évtizedes múltra tekint vissza, melyekre hazai (Öllős 1956) és nemzetközi (Klotz 1971, Williams 1985, Wendling és társai 1997, Klauder és társai 2009) kutatások is alapultak.

A BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék Laboratóriumában 2011-ben kezdődött meg a próbaszivattyúzások során lezajló folyamatok kismintamodellel való vizsgálata, mely 2015-től a doktori kutatási témám alapját képezte. A kismintamodell megépítését több terepi mérés tapasztalata vezérelte (Hajnal 2003, Hajnal és társai 2009), melyek során körvonalazódott, hogy a próbaszivattyúzások elvégzéséhez kevés kiinduló adat esetén szükség volna a gyakorlati mérnöki munka számára olyan irányelvekre, melyek segítséget tudnak nyújtani méretezési és víztelenítési problémákkal kapcsolatban. Hosszútávon a kismintamodellezés egy olyan alternatívát nyújthat a terepi mérésekkel szemben, ahol könnyebben és olcsóbban lehet többféle víztartót, illetve kútkialakítást vizsgálni. A laboratóriumi mérési tapasztalatok jó alapot adhatnak egy átfogó, több eshetőségre is kitérő dokumentum vagy adatbázis létrehozására, mely hasonló kérdésekre ad választ a gyakorló mérnökök számára. A doktori kutatásom fő célja a meglévő laboratóriumi kismintamodell továbbfejlesztése volt, melyben próbaszivattyúzásokat szimulálva szivárgás- és kúthidraulikai paraméterek határozhatók meg oly módon, hogy azok eredményei valós méretre kiterjeszthetők legyenek.

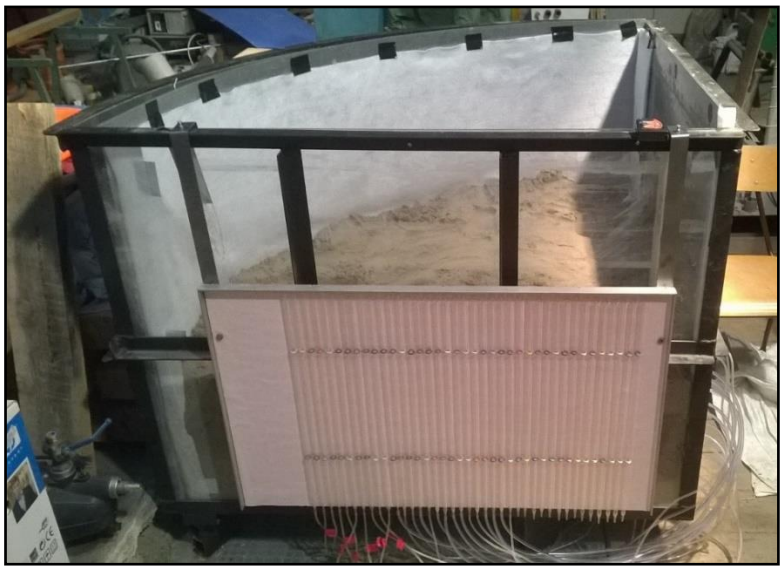
A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

Kutatási munkám főbb irányainak kijelölését széleskörű irodalomkutatás és a próbaszivattyúzásra vonatkozó előírások megismerésére előzte meg. Ezt követően fogalmaztam meg a kutatás céljait, melyek kiterjedtek a laboratóriumi vizsgálatokra, adatfeldolgozásra, a vizsgálatok eredményeinek igazolására szolgáló numerikus modellezésre és terepi példákkal való összehasonlításra egyaránt. Disszertációm célkitűzései az alábbi pontokban foglalhatók össze:

- A kismintamodellel permanens és időben változó méréseket terveztem meg, melyek kiértékeléséből szivárgási tényező értékek számíthatók ki. Célul tűztem ki az eredmények összevetését szemeloszlási görbéket felhasználó, szivárgási tényező meghatározására alkalmas elméleti módszerekkel, melyekre így megbízhatóságuk szerinti ajánlások állapíthatók meg.
- Céljaim között szerepelt laboratóriumi próbaszivattyúzásokkal kúthidraulikai mérések folytatása több különböző perforációjú anyakúttal, amiből a kútellenállás értéke meghatározható az alkalmazott lyukátmérő, illetve a kútban előállított leszívás függvényében.
- Ellenőrizni kívántam a talajmintában, illetve a kút közvetlen környezetében fellépő áramlási viszonyokat, a nem lamináris áramlás kialakulási lehetőségének vizsgálata. Célom volt a kúttervezés szempontjából fontos paraméterek, mint a kritikus belépési sebesség (v_{crit}) és a kritikus Reynolds-szám (Re_{crit}) meghatározása laboratóriumi körülmények között.
- A kismintamodellel végzett méréseket numerikus modellezéssel kívánom ellenőrizni, így laboratóriumi léptékben igazolhatóvá válhatnak a vizsgálatokból nyert leszívás, vízhozam és szivárgási tényező eredmények. A numerikus modellezés alkalmas lehet a kismintamodell alkalmazási korlátainak meghatározására.
- Terepi próbaszivattyúzások adataival igazolni kívánom a kismintamodell-mérésekkel kapott eredmények helyességét, így nemcsak laboratóriumi, hanem valós léptékben is megállapítható a kismintamodell alkalmazhatósága.

A KUTATÁS MÓDSZEREI

A laboratóriumi vizsgálatok elvégzéséhez az általam továbbfejlesztett kismintamodellt használtam fel. A fizikai modellel permanens és időben változó szivárgáshidraulikai vizsgálatokat végeztem, melyekből a talaj szivárgási tényezőjét Dupuit- és Theis-módszerekkel számítottam ki. A szivárgási tényező meghatározására ezen felül összesen tizennégy különböző, szemeloszlási görbét felhasználó elméleti módszert alkalmaztam (például: USBR, Slichter, Barr, stb.). A saját mérési adatsoraim kúthidraulikai szempontú kiértékeléséhez Öllős (1958) és Williams (1985) által bemutatott módszertant alkalmaztam. Laboratóriumi körülmények között mért adatok kismintaléptékű igazolását a FEFLOW 7.0. végeselemes szoftverben végeztem el. A kismintamodell eredményeit a Mosonyi-Kovács kismintatörvény felhasználásával számítottam át valós méretre, melyeket összevetettem terepi körülmények között elvégzett próbaszivattyúzásokkal.



1. kép: A kismintamodell talajmintával feltöltve

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az alábbi fejezetben az általam fejlesztett kismintamodellen végzett kutatásom alapján megfogalmazott új tudományos eredményeket közlöm. Vizsgálataim eredményeit összesen öt tézisbe csoportosítom, melyek közül a 2. és 3. tézis altéziseket is tartalmaz.

1. tézis: Rangsort állítottam fel különböző, szemeloszlási görbéket alkalmazó elméleti módszer között, melyekkel szivárgási tényező értékek határozhatók meg.

A permanens kismintakísérletekből Dupuit-módszerrel számított szivárgási tényezőket a FEFLOW 7.0 numerikus szoftverben felépített modellváltozatokkal igazoltam, a fizikai és numerikus modellek közötti eltérések nem haladták meg a 9%-ot. A Theis-módszerrel értékelt nempermanens laboratóriumi méréseket összevetettem a permanens vizsgálatok eredményeivel, melyek között 36%-os eltérés adódott. Tizennégy különböző szemeloszlási görbét felhasználó elméleti módszerrel és a referenciaértéknek tekintett Dupuit-módszerrel kapott szivárgási tényezők közötti eltérések 2-540% között mozogtak, mely intervallum felső határa kiugrónak tekinthető (1. táblázat). Ezeket az elméleti módszereket a referenciaértéktől való eltéréseik alapján megbízhatóságuk szerint öt különböző csoportba soroltam (2. táblázat).

1. táblázat: A különböző módszerekkel kapott szivárgási tényező értékek

Vizsgálat fajtája	Kiértékelés módszere	Szivárgási tényező [m/s]	Eltérés a Dupuit (2018-2019) értékhez képest [%]
Szemeloszlási görbe	USBR	2,30E-04	2
	Slichter	2,73E-04	21
	Barr	3,25E-04	44
	Alyamani és Sen	4,13E-04	84
	Krumbein és Monk	4,14E-04	84
	Beyer	5,14E-04	128
	Seelheim	5,16E-04	129
	Hagen	5,20E-04	131
	Krőber	5,92E-04	163
	Sauerbrei	6,37E-04	183
	Chapius	7,25E-04	222
	USCRO	7,43E-04	230
	Hazen	7,97E-04	254
	Jáky	1,44E-03	540
Kismintakísérlet	Theis (2018-2019)	1,43E-04	36
	Dupuit (2018-2019)	2,25E-04	-
	Dupuit (2015)	2,93E-04	30
Numerikus modellezés	„FA” modell	2,34E-04	4
	„FB” modell	2,46E-04	9

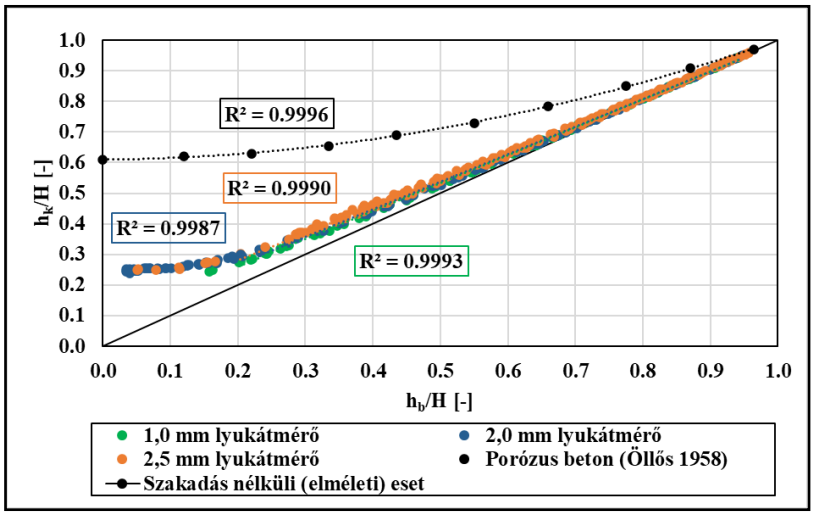
2. táblázat: Szemeloszlási görbéket felhasználó módszerek megbízhatósága közepes homok talajminta esetén

Referenciaértéktől való eltérés	Módszerek	Alkalmazhatóság
0-50%	USBR, Slichter, Barr	Megbízható
50-100%	Alyamani és Sen, Krumbein és Monk	Elfogadható
100-200%	Beyer, Seelheim, Hagen, Kröber, Sauerbrei	Jó becslés
200-300%	Chapius, USCRO, Hazen	Gyenge becslés
300%-	Jáky	Megkérdőjelezhető

Hivatkozások: Hajnal és Farkas (2011), Vig és társai (2016), Farkas és társai (2019a), Farkas és társai (2019b)

2. tézis: Mérési eredményekkel kimutattam, hogy a termelőkutak perforációja hatást gyakorol a kútellenállás mértékére, illetve a leszívási görbe geometriájára.

2.1. A különböző lyukátmérővel, de azonos áteresztőfelülettel készült PVC anyagú anyakutak palástján kialakul a szabad szivárgási felület, melynek mértéke függ a kutak perforációjának átmérőjétől (1. ábra). A vízszintekben kialakuló eltérés a szakadásmentes elméleti esettől annál jelentősebb volt, minél nagyobb átmérőjű perforációt alkalmaztam az anyakutaknál. A leszívás növelésével a különböző kútkialakításoknál eltérő ütemben, de minden esetben nőtt a kúton belül mért vízszint és a vízadó telített rétegvastagságának hányadosa (h_b/H), valamint a Dupuit-elmélet egyenese közötti különbség (3. táblázat). Eredményeimet összevetettem egy közel azonos átmérőjű porózus beton anyakúttal végzett vizsgálattal és megállapítottam, hogy a perforált PVC kutaknál kisebb a kútpaláston kialakuló vízszint-elszakadás mértéke.

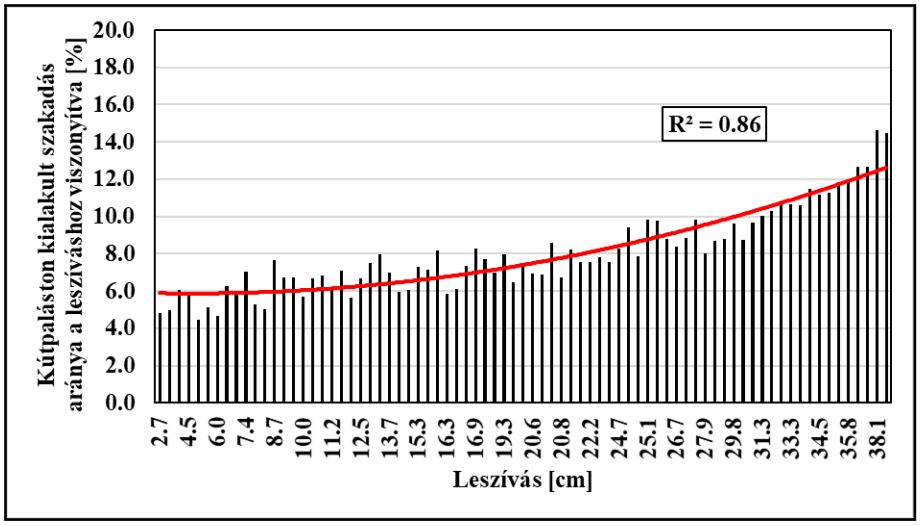


1. ábra: A három különböző lyukmérettel perforált anyakút palástján belüli és kívüli vízszintekben (h_b, h_k) kialakuló vízszint-elszakadás folyamata (Farkas és társai 2021)

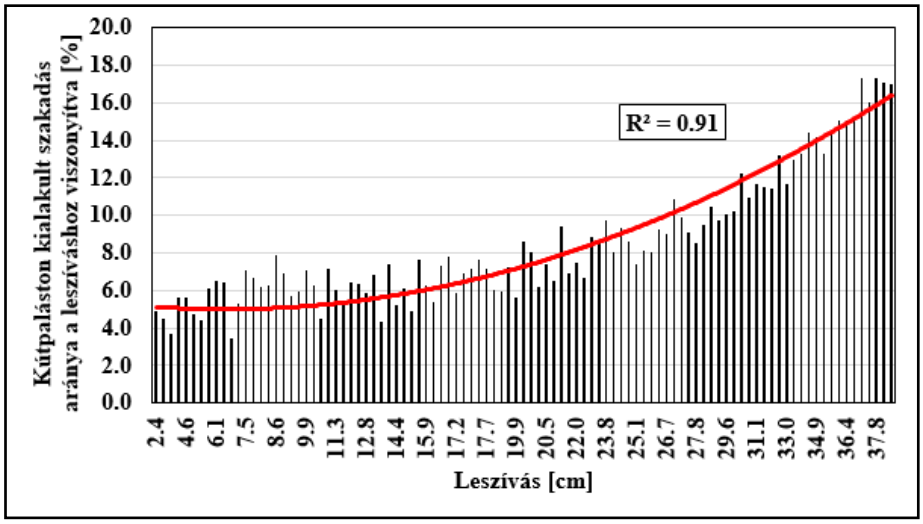
3. táblázat: A három különböző lyukmérettel perforált anyakút h_b/H értékei az elméleti egyenestől való eltérés függvényében

Perforáció átmérője [mm]	h_b/H értéke az elméleti egyenestől való%-os eltérések függvényében				
	1%	5%	10%	25%	50%
1,0	0,80	0,51	0,38	0,25	0,16
2,0	0,80	0,55	0,42	0,28	0,19
2,5	0,80	0,60	0,47	0,32	0,21

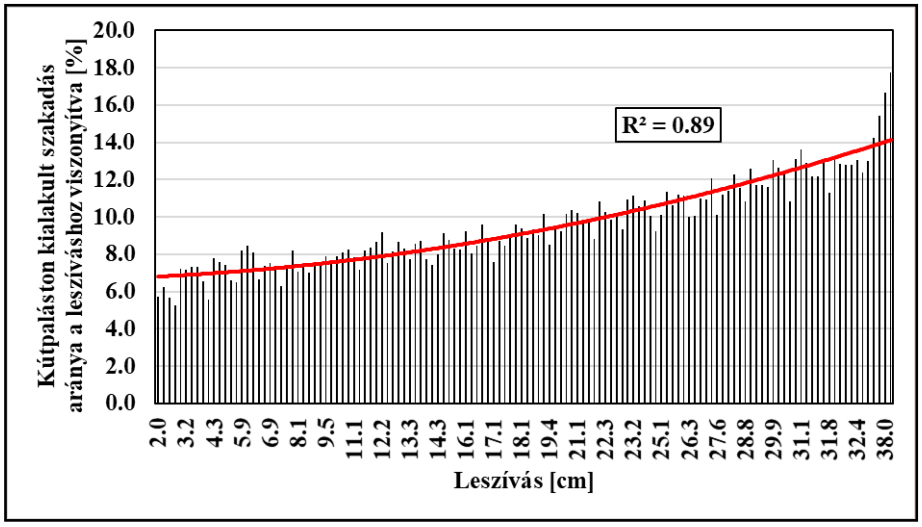
2.2. A kismintamodellben mérésekkel meghatároztam, hogy a különböző lyukátmérővel készült anyakutak palástján kialakuló vízszint-elszakadás milyen arányban áll a hozzá tartozó leszívási értékhez viszonyítva. Ezzel számszerűsítettem, hogy a teljes leszívás hány százaléka alakul ki közvetlenül a kútpaláston adott perforáció alkalmazása mellett. A legkisebb leszívásnál a kútpaláston kialakult szakadás körülbelül 5%-át teszi ki a teljes leszívás értékének mindhárom kút esetében. A maximális leszíváshoz az 1,0 mm-es perforációjú kút esetében 14%-os, a 2,0 mm-esnél 17%-os és a 2,5 mm-esnél 18%-os érték adódott. (2-4. ábrák). A mért adatsorokra jól illeszkedő burkológörbék egyenleteit felhasználva a tetszőleges leszívásra kiszámítható a kútellenállás értéke a különböző perforációval kialakított kutaknál (5. ábra).



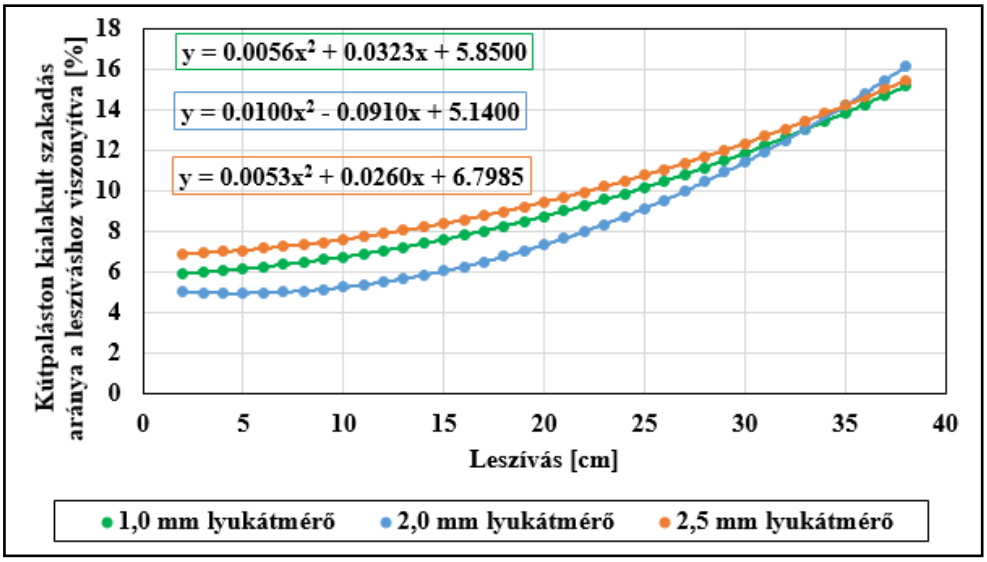
2. ábra: 1,0 mm-es lyukátmérővel perforált anyakút palástján kialakuló veszteség aránya a leszívás értékeihez viszonyítva (10 °C-ra átszámított értékek) (Hegedűs és társai 2019)



3. ábra: 2,0 mm-es lyukátmérővel perforált anyakút palástján kialakuló veszteség aránya a leszívás értékeihez viszonyítva (10 °C-ra átszámított értékek) (Hegedűs és társai 2019)



4. ábra: 2,5 mm-es lyukátmérővel perforált anyakút palástján kialakuló veszteség aránya a leszívás értékeihez viszonyítva (10 °C-ra átszámított értékek) (Hegedűs és társai 2019)



5. ábra: A kútpalástón kialakuló veszteséget jellemző görbék a leszívás függvényében

Hivatkozások: Hegedűs és társai (2019), Farkas és társai (2021)

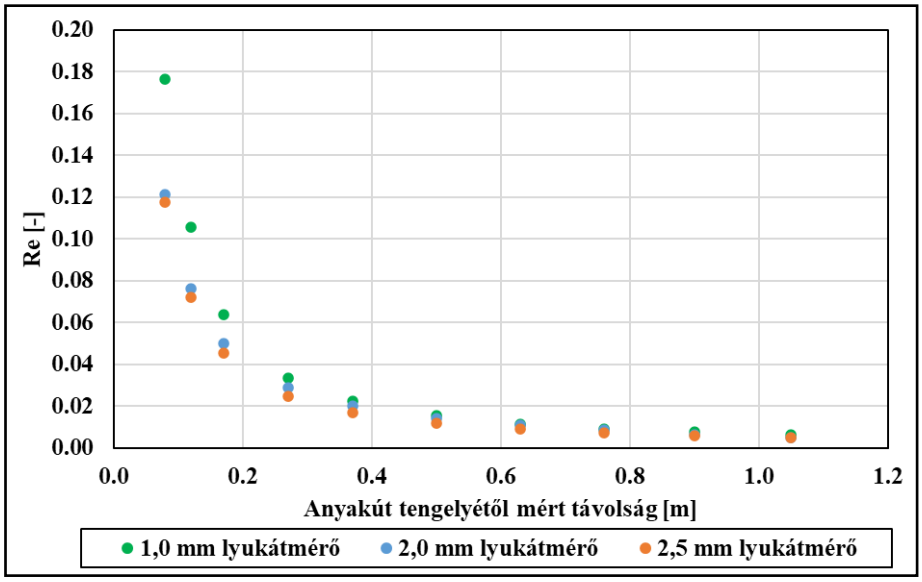
3. tézis: Laboratóriumi vizsgálataimmal kimutattam, hogy a kismintamodellben nemlineáris áramlás alakult ki.

Az 1. egyenlet felhasználásával a megfigyelőkutak, valamint az anyakút környezetében Reynolds-számokat határoztam meg, mellyel jellemeztem a modelltérben kialakuló áramlási viszonyokat.

$$Re = \frac{v \cdot d_{50}}{\nu} \qquad [1]$$

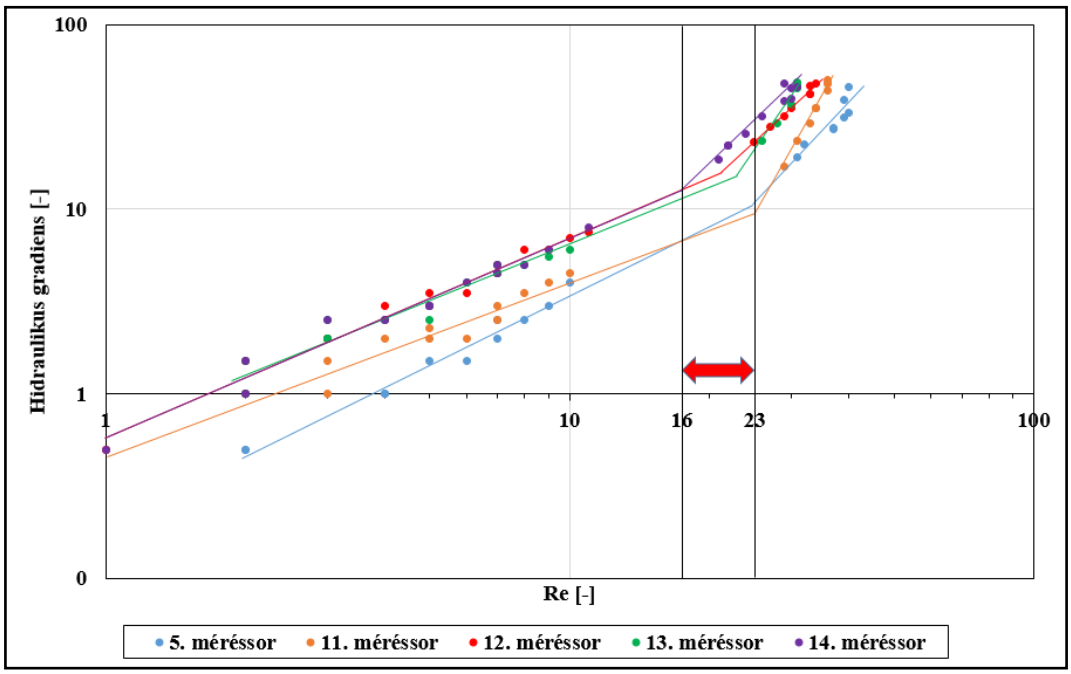
Paraméterek: Re a Reynolds-szám [-], v a szivárgás sebessége [m/s], d_{50} a mértékadó szemcseátmérő [m], ν a kinematikai viszkozitás [m^2/s].

3.1. Számításokkal bizonyítottam, hogy lamináristól eltérő állapot nem lép fel a kismintamodell 1. megfigyelőkútja és felső pereme között. A három különböző perforációjú anyakútnál kialakult legnagyobb leszívásoknál az egyes megfigyelőkutak környezetében a Reynolds-számok nem haladták meg a 0,18-at, így az áramlás a modelltér ezen részén nagy biztonsággal lamináris nak tekinthető (6. ábra).



6. ábra: Az áramlást jellemző Re-számok értékei az 1-10. megfigyelőkutak közötti modelltérben

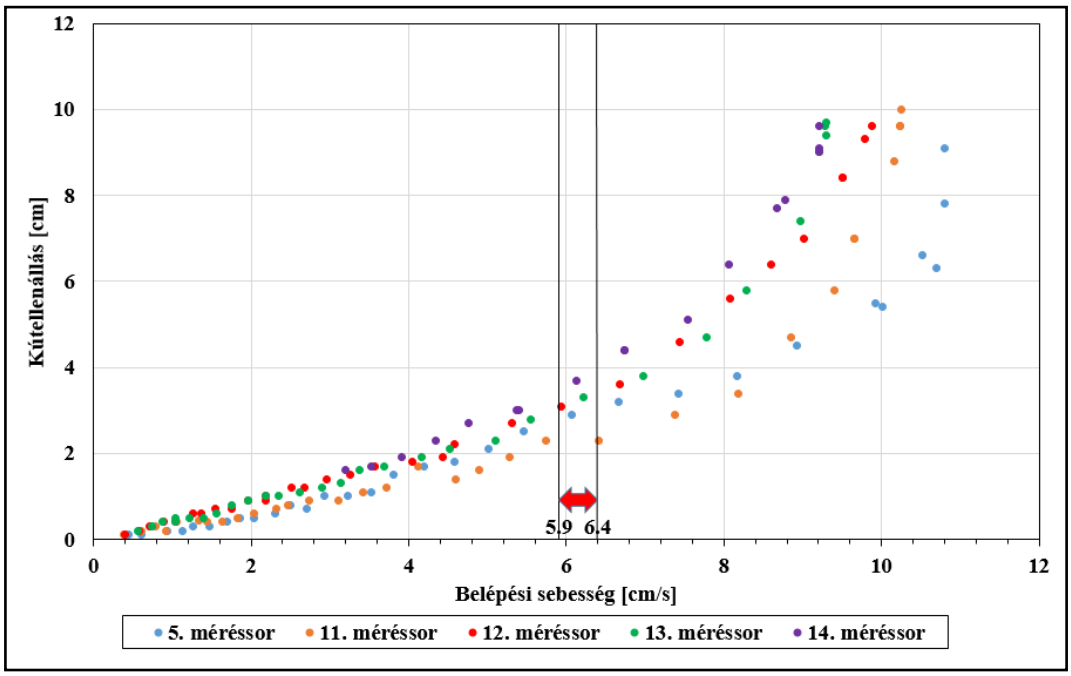
3.2. A mérési eredmények alapján meghatároztam egy kritikus Reynolds-számot (Re_{crit}=16), mely felett az anyakút palástján nemlineáris áramlás alakult ki. A termelőkút palástján a lamináris és a turbulens áramlás közötti átmeneti szakasz a mérési eredmények alapján 16<Re<23 Reynolds-szám tartománnyal jellemezhetők, a kritikus Reynolds-számot (Re_{crit}) ennek a tartománynak az alsó határával (Re_{crit}=16) azonosítottam (7. ábra). A megállapított Re_{crit}=16 érték korábbi szakirodalmi eredményekkel jól összeegyeztethető.



7. ábra: A különböző anyakutakkal mért Reynolds-számok a hidraulikus gradiens függvényében

3.3. A nemlineáris áramlás határának megválasztott kritikus Reynolds-számhoz (Re_{crit}=16) kritikus belépési sebességet (v_{crit}=5,9 m/s) rendeltem, mely felett az áramlás nemlineáris, a súrlódási veszteség nem elhanyagolható.

Az átmeneti áramlást jellemző Reynolds-szám tartományhoz (3.2. tézis) rendelhető belépési sebesség intervalluma 5,9<v<6,4 m/s között jellemezhető. A kritikus belépési sebességet a kritikus Reynolds-számhoz hasonlóan a tartomány alsó értékével, v_{crit}=5,9 m/s-mal azonosítottam (8. ábra), mely jól illeszkedik a szakirodalomban ismertetett korábbi kutatások eredményeihez.



8. ábra: A különböző anyakutakkal mért belépési sebességek a kútellenállás függvényében

Hivatkozások: Farkas és társai (2021)

4. tézis: Numerikus modellek felhasználásával megállapítottam a termelőkútra egy olyan leszívási értéktartományt, amelyen a kismintamodellben végzett vizsgálatok kiterjeszthetők valós méretekre.

A FEFLOW 7.0 numerikus szoftverrel sikeresen kalibráltam és validáltam a kismintamodellt leképező első olyan modellváltozatokat, melyek megfelelő pontossággal adják vissza a laboratóriumban mért értékeket. A kalibrált modellváltozatokat nem tekintettem igazoltnak abban az esetben, ha a piezométerek leszívással arányosított értékeinek teljes hibája, valamint a hozamokban észlelt eltérések egyaránt meghaladták az 5%-ot (4. és 5. táblázatok). Ebből következik, hogy a numerikus modellek csak az 50 mm feletti leszívással rendelkező független mérések laboratóriumi eredményeit képesek jól szimulálni.

4. táblázat: Az „FA” modellverzió kalibrált és validált eredményei

Mérés jele	Leszívás értéke [mm]	Peremfeltételek [mm]		P1-P35 teljes hibája [mm]	Piezok hibája és leszívás aránya [%]	Hozam [l/min]		Hozamok eltérése [%]
		Anyakút	Vízbevezetés			Számított	Mért	
FA	81	379	460	1,4	1,7	0,21	0,21	0,0
FA-V1	181	299	480	3,8	2,1	0,42	0,40	5,2
FA-V2	162	318	480	3,2	2,0	0,39	0,37	4,1
FA-V3	142	338	480	2,9	2,0	0,35	0,34	1,9
FA-V4	138	322	460	3,1	2,2	0,32	0,31	4,3
FA-V5	124	356	480	2,9	2,4	0,31	0,30	3,3
FA-V6	123	337	460	2,5	2,0	0,29	0,28	4,5
FA-V7	104	376	480	2,6	2,5	0,27	0,26	5,2
FA-V8	79	381	460	1,8	2,3	0,20	0,20	2,6
FA-V9	67	413	480	3,0	4,4	0,19	0,19	1,2
FA-V10	59	401	460	2,4	4,0	0,16	0,15	4,6
FA-V11	46	434	480	3,3	7,1	0,13	0,15	12,4
FA-V12	38	422	460	2,7	7,2	0,11	0,12	13,0
FA-V13	25	455	480	2,8	11,3	0,07	0,10	28,3
FA-V14	14	446	460	2,4	17,0	0,04	0,07	58,8

5. táblázat: Az „FB” modellverzió kalibrált és validált eredményei

Mérés jele	Leszívás értéke [mm]	Peremfeltételek [mm]		P2-P7 teljes hibája [mm]	Piezok hibája és leszívás aránya [%]	Hozam [l/min]		Hozamok eltérése [%]
		Anyakút	Vízbevezetés			Számított	Mért	
FB	81	379	460	0,6	0,8	0,21	0,21	0,0
FB-V1	181	299	480	2,1	1,1	0,43	0,40	6,4
FB-V2	162	318	480	2,0	1,2	0,39	0,37	5,6
FB-V3	142	338	480	2,3	1,6	0,35	0,34	3,3
FB-V4	138	322	460	1,4	1,0	0,33	0,31	5,1
FB-V5	124	356	480	2,3	1,8	0,31	0,30	4,4
FB-V6	123	337	460	1,5	1,3	0,30	0,28	5,6
FB-V7	104	376	480	1,9	1,8	0,27	0,26	5,1
FB-V8	79	381	460	1,2	1,5	0,20	0,20	2,8
FB-V9	67	413	480	2,1	3,2	0,18	0,19	2,6
FB-V10	59	401	460	1,1	1,9	0,15	0,15	2,0
FB-V11	46	434	480	1,5	3,3	0,13	0,15	18,4
FB-V12	38	422	460	1,4	3,8	0,10	0,12	19,0
FB-V13	25	455	480	1,5	5,8	0,07	0,10	35,0
FB-V14	14	446	460	1,2	8,3	0,04	0,07	70,1

A numerikus modellezéssel igazolt adatsorok értékeit átszámítottam valós méretekre a Mosonyi-Kovács kismintatörvény felhasználásával. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy a fizikai modellel meghatározható egy termelőkút hozama közepes homok környezetben, ha a leszívás valós értéke 0,5-1,7 m között marad (6. táblázat).

6. táblázat: Kismintakísérletek és numerikus modellezés eredményei átszámítva valós méretekre

Mérés jele	Kismintában mért értékek		Numerikus modellezésből számolt értékek				Valós méretekre átszámolt értékek					
	Leszívás [mm]	Hozam [l/min]	Piezok teljes hibája [mm]		Hozamok eltérése [%]		Leszívás [mm]	Hozam [l/min]	Vízszintek pontossága [mm]		Hozam pontossága [l/min]	
			FA	FB	FA	FB			FA	FB	FA	FB
FA	81	0,21	1,4	-	0,0	-	762	74	13,3	-	0,0	-
FB	81	0,21	-	0,6	-	0,0	762	74	-	6,1	-	0,0
V1	181	0,40	3,8	2,1	5,2	6,4	1703	142	36,0	19,3	7,4	9,1
V2	162	0,37	3,2	2,0	4,1	5,6	1524	131	30,0	18,6	5,4	7,3
V3	142	0,34	2,9	2,3	1,9	3,3	1336	120	27,3	21,4	2,3	4,0
V4	138	0,31	3,1	1,4	4,3	5,1	1299	110	28,9	13,3	4,7	5,6
V5	124	0,30	2,9	2,3	3,3	4,4	1167	106	27,6	21,3	3,5	4,7
V6	123	0,28	2,5	1,5	4,5	5,6	1157	99	23,2	14,6	4,5	5,6
V7	104	0,26	2,6	1,9	5,2	5,1	979	92	24,2	17,8	4,8	4,7
V8	79	0,20	1,8	1,2	2,6	2,8	743	71	17,4	11,0	1,8	2,0
V9	67	0,19	3,0	2,1	1,2	2,6	630	67	27,8	20,1	0,8	1,7
V10	59	0,15	2,4	1,1	4,6	2,0	555	53	22,4	10,4	2,4	1,1

Hivatkozások: Vig és társai (2016), Farkas és társai (2019a)

5. tézis: Terepi mérések példáján keresztül bemutattam, hogy a kismintamodellben alkalmazott geometriai arányszám (C) használatával a termelőkútban kialakuló leszívás, valamint a kitermelt hozam értéke megfelelő pontossággal kiterjeszthető valós méretre, amennyiben a két különböző méretben elvégzett próbaszivattyúzás között a geometriai és kinematikai hasonlóság is teljesül.

A geometriai arányszámot a terepen és a laboratóriumban alkalmazott kutak átmérőinek hányadosa jelentette, mely a Mázsa téri mintaterületnél C=9,41, a Könyves Kálmán körútnál C=9,71 volt. A kismintában mért értékek valós méretre kiterjesztése a geometriai méretszorzó felhasználásával történt: a leszívást C-vel, a vízhozamot C^2-tel kellett megszorozni a Mosonyi-Kovács kismintatörvény értelmében. A kismintamodell és a Mázsa téren végzett vizsgálatok között a geometriai és kinematikai hasonlóság is fennállt, emellett volt olyan laboratóriumi mérés, melynek leszívás-, vízhozam- és szivárgási tényező értékei egyaránt 2%-os eltéréssel közelítették a terepen megfigyelteket (7. táblázat).

7. táblázat: A kismintában és a Mázsa téren végzett próbaszivattyúzások összehasonlító számításainak eredményei

Paraméterek	Kisminta értékek	Átszámított értékek	Terepi mért értékek	Különbségek [%]
Leszívás [m]	0,205	1,93	1,89	2
Vízhozam [l/min]	1,44	127,2	130,0	2

A Könyves Kálmán körúti mintaterületen a kinematikai hasonlóság érvénytelensége ellenére megkíséreltem az átszámítást a 2. egyenlet felhasználásával, ahol Q_v a vízhozam valós méretben, Q_m a vízhozam kismintamodell méretben, C_k a két lépték szivárgási tényezőjének arányszáma, C a geometriai arányszám.

$$Q_v = Q_m \cdot C_k \cdot C^2 \qquad [2]$$

A vízhozamértékek között 46%-os eltérés mutatkozott, mely meghaladta az elfogadható mértéket, így kijelenthető, hogy csak a geometriai hasonlóság teljesülése nem elegendő feltétel a valós és kicsinyített léptékben elvégzett vizsgálatok közötti átszámíthatóság megteremtésére.

Hivatkozások: Farkas (2021)

A TÉZISEKBEN HIVATKOZOTT PUBLIKÁCIÓK

Farkas, D., Hajnal, G., Vasvári, V. (2019a). Validation of a Physical and Numerical Model to Solve Problems of Seepage Flow. *Periodica Polytechnica – Civil Engineering* 63(2) pp. 388-400.

Farkas, D., Hegedűs, N., Farkas-Karay, Gy. (2019b). Szivárgási tényező laboratóriumi meghatározása szemeloszlási görbe és kismintamodell felhasználásával. *Hidrológiai Közlöny* 99(4) pp 42-51.

Farkas, D., Hegedűs, N., Farkas-Karay Gy. (2021). Well hydraulics in pumping tests - a laboratory sandbox study, *6th IAHR Europe Congress*, Febr. 15-18, 2021, Warsaw, Poland.

Farkas, D. (2021). Szivárgáshidraulikai kismintamodell igazolása terepi mérésekkel, *Hidrológiai Közlöny*, ELFOGADVA

Hajnal, G., Farkas D. (2011). Hydrogeologische Untersuchungen des Höhlensystem der Budaer Burg. *Beiträge zur Hydrogeologie*, Jahrgang 2011.; Joanneum Research, pp. 27-52. ISSN 0376-4826

Hegedűs, N., Farkas, D., Farkas-Karay, Gy. (2019). Kúthidraulikai vizsgálatok kismintamodellezéssel pp. 32-33. 2 p. *Almássy Endre XXVI. Konferencia a Felszín Alatti Vizekről 2019-03-26* Siófok, Magyarország

Vig, T., Farkas, D., Hajnal, G. (2016). Szivárgási tényező vizsgálata kisminta kísérlet és numerikus modell segítségével In: Török, Á; Görög, P; Vásárhelyi, B (szerk.), *Mérnökgeológia – Kőzetmechanika,* Budapest, Magyarország, Hantken Kiadó, pp 43-54.

A TÉMÁBAN MEGJELENT EGYÉB PUBLIKÁCIÓK

Farkas, D.; Hajnal, G. (2011). *Hidrogeológiai vizsgálatok a Várhegyen*, Magyar Hidrológiai Társaság, Hidrogeológiai Szakosztály, 2011. 04. 19.

Farkas D., Hajnal G., Szieberth D. (2015). Vízkémiai vizsgálatok a Molnár János-barlangban, *Magyar Építőipar* 65: pp. 57-62. (2015)

Farkas D., Hajnal G., Szieberth D., Rehák A. (2015). A Molnár János-barlang térségének hidrológiai vizsgálata, *Mérnökgeológia - Kőzetmechanika 2015.* 458 p. Budapest: Hantken Kiadó, pp. 61-74. ISBN:978-615-5086-09-0

Farkas-Karay Gy., Farkas D., Imre E., Bálint Á., Adildorj K., Boldbataar T., Dang T. Q. H., Lopez Lamas L. G. (2020). Laboratory Test for Sand Boil Formation Near a Flood Protection Dike, *11th International Annual Conference on Sustainable Environmental Protection & Waste Management Responsibility*, ICEEE 2020: Proceedings Book, Budapest, Magyarország 2020.11.19-11.20. (Óbudai Egyetem), pp 252-259

Hajnal, G., Farkas, D. (2010). Hidrogeológiai vizsgálatok a budavári barlangrendszerben, *Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2010*, Műegyetemi Kiadó, pp. 13-28. ISBN 978-963-313-001-8

Hajnal G., Farkas D., Vasvári V. (2012). Hidrogeológiai vizsgálatok, in: Farkas D., Görög P, Hajnal G., Karay Gy., Kőszely Á., Török Á., Vasvári V.: *Mérnöki kutatások a budai Várhegyen (5. fejezet)* Hantgen Kiadó, pp. 99-134. ISBN 978-615-5086-05-2

Hajnal, G ; Farkas, D ; Vasvári, V (2012). Hydrogeological investigations of the Buda Castle hill, *Groundwater is Fractured Rocks (IAH)*, Prague, 21-24 May 2012

Hajnal, G., Farkas, D., Máté, Sz., Mészáros, Z, Póth, Z. (2009). A budavári barlang hidrológiai vizsgálata, *Mélyépítés folyóirat*, VII. évfolyam 2009/02. szám, pp. 16-21.; D-Plus Kft. ISSN 1589-4355

Szloboda, Zs, Farkas, D., Hajnal, G., Vasvári, V. (2015). Árvízvédelmi töltések szivárgásvizsgálata, *Magyar Építőipar* 2015: 4 pp. 143-148., 6 p.

A TÉZISFÜZETBEN IDÉZETT FORRÁSOK

Hajnal, G. (2003). Könyves Kálmán körúti vasúti híd térségének hidrogeológiai vizsgálata. In: Török, Á (szerk.) *Mérnökgeológiai Jubileumi Konferencia*, Budapest, Magyarország. Műegyetemi Kiadó, p. 255

Hajnal, G., Jobbágy, R., Vasvári, V. (2009). Próbaszivattyúzások kiértékelésének összehasonlítása, *Mélyépítés* 03/2009: 2009/03 pp. 20-25.

Klauder, W., Roger, S., Adenau, W., Müller, C.; Schüttrumpf, H. (2009). Durchführung von Filter-versuchen - Wissenschaftliche Untersuchung zur Optimierung der Brunnenfilter. *Bbr: Fachmagazin für Brunnen- und Leitungsbau* 60(6), pp 40-46.

Klotz, D. (1971). Untersuchung von Grundwasserströmungen Durch Modellversuche im Maßstab 1:1. In: *Geologica Bavarica* 64: 75-119.

Öllős, G. (1956). A talaj rétegződés hatása a kutakkal kapcsolatos talaj vízmozgásra, *Hidrológiai Közlöny,* 36(4) pp. 274-285.

Öllős, G. (1958). A kútpalást melletti hidraulikai viszonyok részletes vizsgálata. *Hidrológiai Közlöny,* 38(1) pp 1-20.

Wendling, G., Chapuis, R. P., Gill, D. E. (1997). Quantifying the effects of well development in unconsolidated material. *Ground Water* 35(3):387–393

Williams, D. E. (1985). Modern techniques in well design. *Journal of American Water Works Associate* 77(9):68–74