



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

**Építőmérnöki Kar**

**Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék**

# **Sarkantyúk hatásának vizsgálata laboratóriumi környezetben**

**Tudományos Diákköri Konferencia**

**Készítette: Gieszer Vince**

**Konzulens: Dr. Török Gergely Tihamér**

**Dr. Farkas Dávid**

# Tartalomjegyzék

<b>Absztrakt</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Bevezetés</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Irodalomkutatás</b> .....	<b>5</b>
<i>Mississippi</i> .....	5
<b>3. Alkalmazott módszerek</b> .....	<b>8</b>
3.1 <i>A kismintamodellezés</i> .....	8
3.2 <i>A főkivitel</i> .....	10
3.3 <i>Számítási háttér</i> .....	12
3.3.1 <i>Sarkantyúk nélküli eset</i> .....	12
3.3.2 <i>Sarkantyúk behelyezése utáni eset</i> .....	13
<b>4. Mérések</b> .....	<b>15</b>
4.1 <i>Laboreszközök bemutatása</i> .....	15
4.2 <i>Kísérleti mérések</i> .....	16
<b>5. Eredmények</b> .....	<b>18</b>
5.1 <i>Sarkantyúk nélküli eset</i> .....	18
5.2 <i>Sarkantyúk által befolyásolt eset</i> .....	20
5.2.1 <i><math>C_f</math> ellenálás számítása</i> .....	20
5.2.2 <i>A Froude-szám négyzet értékének alakulása</i> .....	25
5.3 <i>Ellenállási tényező optimuma</i> .....	31
<b>6. Összefoglalás</b> .....	<b>34</b>
<b>7. Irodalomjegyzék</b> .....	<b>36</b>
<b>Köszönetnyilvánítás</b> .....	<b>37</b>

## Absztrakt

A sarkantyúk olyan folyószabályozási műtárgy, ami a partvonalra merőleges, keresztirányú kőszórás. Segítségével a szelvény beszűkítése érhető el, amitől a meder kimélyülése és a vízmélység emelkedése várható. Ez előnyös például a hajózás számára, de kérdéses, hogy mekkora az ilyen műtárgyak által okozott ellenállás? A mederszűkítés és az ellenállás ugyanis emeli a vízmélységet, ami végső soron a tetőző vízszintekre is hatással lehet.

TDK dolgozatom egy részletes irodalomkutatással kezdem. A Mississippi az a folyó, amin a világon elsőként alkalmazták a sarkantyúk építését a mederszabályozásban. Összehasonlítva más folyókon végzett beavatkozásokkal, a Mississippin nagyon sok hidraulikai és medermorfológiai adatot mértek és az azokból levont konklúziókkal publikáltak. A beavatkozások módjáról, illetve az azok által kiváltott folyamatok idősorairól is találtam tanulmányokat.

Ezután térek rá a sarkantyúk hatásának laboratóriumi környezetben történő vizsgálatára. A Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék üvegcsatornájában végezek el kísérleteket. A kísérletek megtervezésénél korlátoztak a csatorna adta lehetőségek. A laboratóriumi mérések során az a célom, hogy a különböző, de a valóságban is jellemző sarkantyúkiosztások mekkora változást eredményez az áramlásban (pl. áramlási sebesség, felszínesítés, stb.). A kísérletekkel egyúttal a csatorna nyújtotta lehetőségek feltérképezését végzem el a lehetséges jövőbeli kísérletek megtervezéséhez (például lehetséges-e mozgó medrű vizsgálat elvégzése? torzítási lehetőségek?).

# 1. Bevezetés

A sarkantyúk olyan folyószabályozási mű, ami az áramlás főirányára merőleges kőszórásként beszűkíti a medret. A beépítésével az érintett folyószakasz hajózhatósági körülményeinek javítása a cél, hiszen a beszűkített keresztmetszetben medermélyülés és a vízmélységaz emelkedése várható. Ennek velejáró hatása, hogy akadályozzák az áramlást, vagyis növelik az ellenállást. Ez az áramlási struktúrák, és ami talán számunkra lényegesebb, a vízszintek megváltozását okozza. Ebből egyértelműen következik, hogy a tetőző vízszint is változik, aminek meghatározása kulcskérdés.

A helyzet bonyolultságát az adja, hogy a sarkantyúk közvetlen kihatással vannak a hordalékmozgásokra és a mederszintekre is.

Célom az volt, hogy megvizsgáljam elsősorban hazai dunai léptékű folyószakasz sarkantyúzásának Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési Laboratóriuma által kínált eszközökkel való lehetőségét. A rendelkezésre álló műszerekkel, csatorna adott méreteivel, stb. lehetséges-e a sarkantyúk okozta ellenállás vizsgálata? Lehetséges-e a kismintában kapott értékek arányosításával reálisan jellemezni a sarkantyúk hatását? A rendelkezésre álló mérési eszközökkel lehetséges-e a kívánt hibahatáron belüli mérés? Vizsgálataimban fix mederrel, a hordalékmozgás figyelmen kívül hagyásával számoltam, és a sarkantyúk okozta ellenállás számszerűsítését tűztem ki célul.

Ezt azért is láttam szükségesnek, mert más szakirodalmakban nagyon kevés az olyan sarkantyúkkal kapcsolatos mérés, ahol azok hatásainak vizsgálatát tűzik ki célul. Egyedülálló sarkantyúk ellenállási tényezőjének meghatározására irányuló vizsgálattal találkoztam, de nagyobb, szakaszléptékű vizsgálatokkal nem. Nagyobb léptékű, 1D morfodinamikai vizsgálatok szempontjából viszont nem az egyes sarkantyúk, hanem azok együttes és szakasz léptékű hatására van szükség.

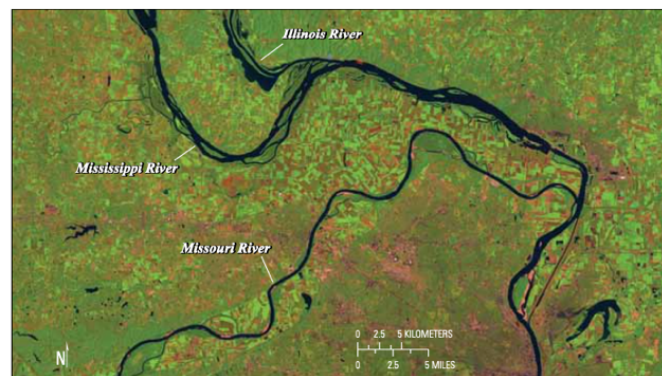
## 2. Irodalomkutatás

### Mississippi

A USA-ban található Mississippi folyó nagy jelentőséggel bír a sarkantyúk történetének szempontjából, ugyanis ezen a folyón a 19. század óta építenek sarkantyúkat és mára már több ezer található a folyóban. Ezeknek elsődleges célja a főmeder mélyítése így javítva annak hajózhatóságát.

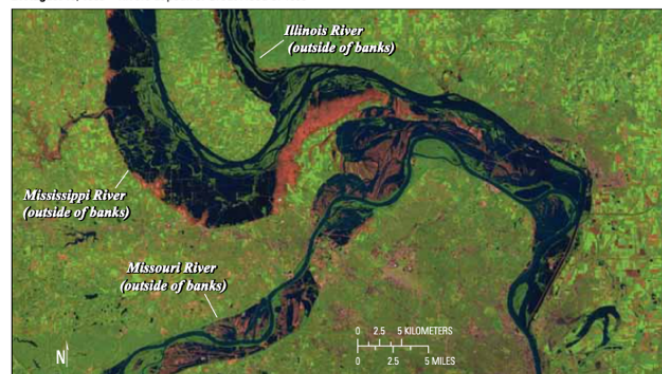
Szerepüket tovább növeli az, hogy itt kiemelkedően sok a sarkantyúkkal kapcsolatos mérés és publikáció, ami rengeteg adatot szolgáltat a műtárggyal kapcsolatos kutatások során. Az itt végzett megfigyelések rég óta folynak, így mára már egy bizonyos szintig kiismertük a létrejövő hatásokat és vannak általános összefüggések, felismerések amelyeket alkalmazva a világ más folyóin is előre tudjuk mutatni a sarkantyúk valószínűsíthető hatásait.

1993-ban azonban hatalmas árhullám vonult végig a Mississippi és Missouri folyókon, ami nagy figyelmet szerzett, ugyanis a számítások alapján az áradás 100 éves visszatérési ideje sokkal kevesebb volt mint azt előre megjósolták (5).



Satellite image courtesy of Jesse Allen, National Aeronautics and Space Administration Earth Observatory and U.S. Geological Survey Earth Resources Observation Systems Data Center

**B. August 19, 1993—Rivers at peak of Great Flood of 1993**



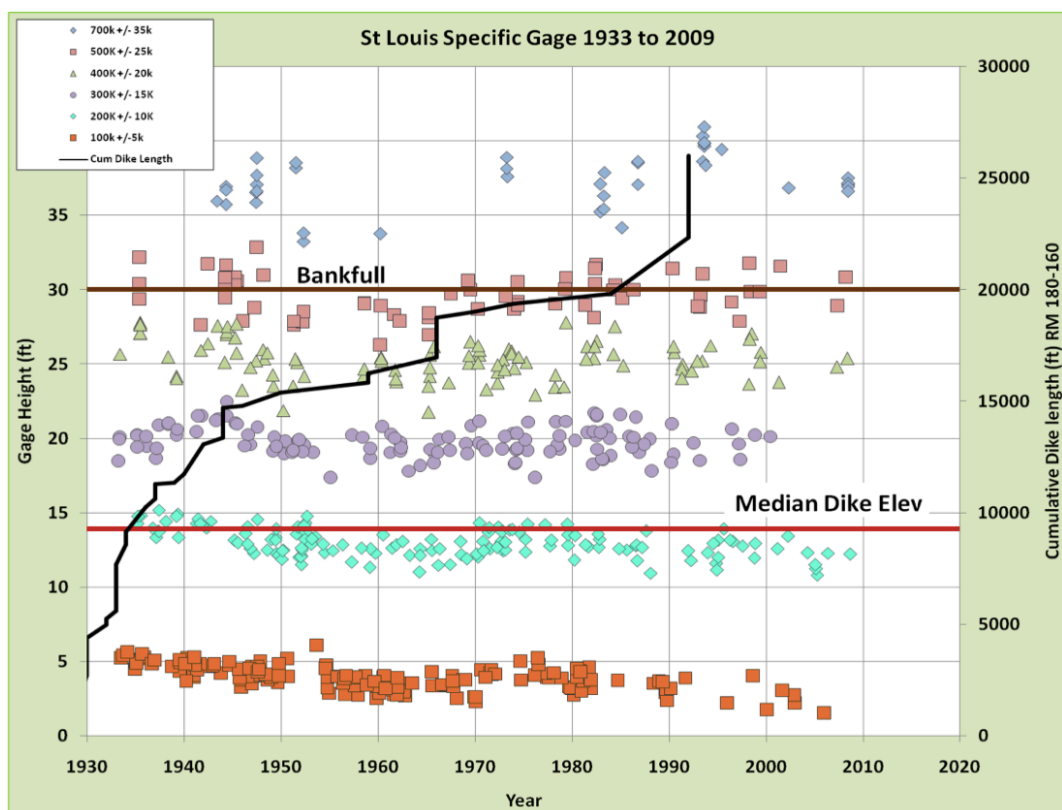
Satellite image courtesy of Jesse Allen, National Aeronautics and Space Administration Earth Observatory and U.S. Geological Survey Earth Resources Observation Systems Data Center

1. ábra A Mississippi folyó képe az 1993-as Nagy Áradás előtt illetve után (13)

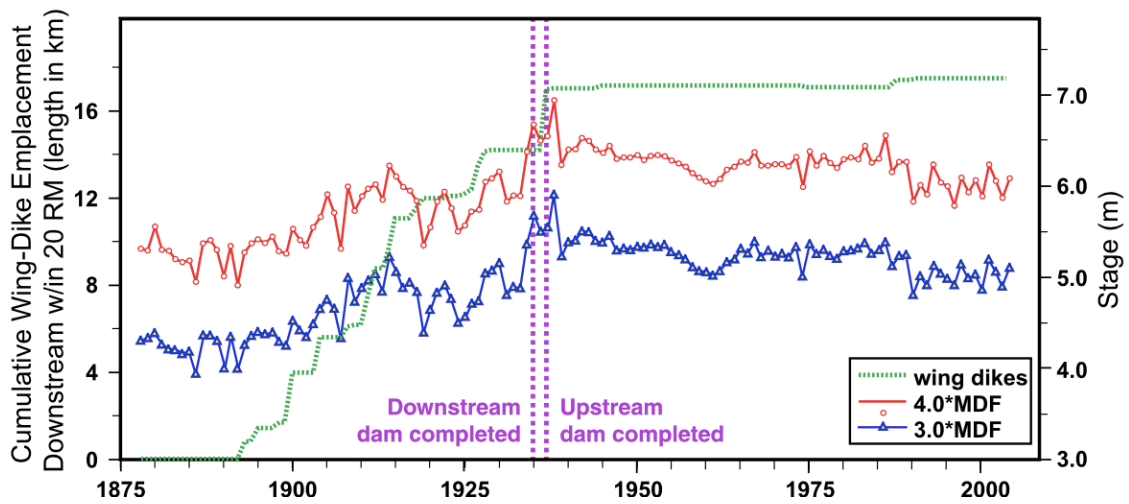
További mérések megmutatták, hogy az áradások gyakorisága is jelentősen növekedett illetve tovább növekedik. Ez a szakértők körében egy vita kirobbanásához vezetett, ugyanis sokan úgy gondolták, hogy az egyre gyakoribb áradásokért nem véletlen események, hanem a folyó medrén végzett emberi beavatkozások okolhatók. Ez a felvetés a mai napig eldöntetlen, így egyelőre fontosabb lépések nem történtek a témával kapcsolatban.

A témában magam is végeztem egy irodalomkutatást, aminek célja a Mississippi folyó középső, St. Louis-nál lévő szakaszának vizsgálata volt. A témában írt tanulmányok, mérési adatok és előadások alapján kellett összeállítani egy olyan dokumentumot, amely az ezekben szereplő adatokat, ábrákat összegyűjti és rendszerezi.

A munka során sok olyan eredmény is előfordult, ami szorosan kapcsolódik a TDK kutatásom témájához



2. ábra Idősor a St. Louis-i mederszintek változásáról 1930-2009 (11)



3. ábra Hidrológia változások Dubuque, Iowa -ban beépített sarkantyúk beépítésének hatására (1880-1940.)(12)



4. ábra Példa a szabályzások hatására kialakult homokpadokra (13)

A 2. és 3. ábrák a vizsgált szakaszon a vízszint változást mutatják, a sarkantyúk megépülésének tükrében. Jól látható, hogy a sarkantyúk épülése hatással volt a vízszintváltozásokra. Azonban hosszú idejű vizsgálatokra van szükség a végső, egyensúlyi állapot előrejelzésére, aminél is a vízszint kulcsszerepet játszik (vajon a sarkantyúk növelik, vagy csökkentik a tetőző vízszinteket?).

A fent említett megfigyelések alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a sarkantyúk szakaszléptékű vizsgálatában a mederváltozás és a vízszintváltozás becsléséhez a következő paraméterek meghatározása szükséges

1. a meder beszűkülésének mértéke
2. a sarkantyúk okozta ellenállás szakaszléptékben

Ezek lehetővé teszik, hogy nagyléptékű becsléseket lehessen tenni a meder- és vízszintváltozásra, amire pl. 3D modellezés a nagy számítási igénye miatt nem alkalmazható.

### 3. Alkalmazott módszerek

#### 3.1 A kismintamodellezés

*A következő részt Dr. Szily József – A vízépítési laboratórium és a modellkísérletezés c. könyvéből vettem át. (4)*

Akkor mondjuk két rendszer mozgási folyamatára, hogy hasonló, ha az egyik folyamat jellemző adatainak a másik folyamatban meghatározott arányszámokkal nagyobbított vagy kisebbített jellemző adatok felelnek meg. Így az egyik folyamatra vonatkozó törvényszerűségekből és megfigyelésükből következtethetünk a másik tulajdonságaira. Ha tehát mechanikai hasonlóságot tudunk létesíteni a vizsgálat tárgyává tett valós folyamat, - az úgynevezett főkivitel - és ennek kicsinyített modellje között, akkor a modellen végzett mérésekből következtethetünk a valóságban létrejövő folyamatokra.

A teljes mechanikai hasonlóság megkívánja a geometriai, kinematikai és dinamikai hasonlóságot.

Geometriai hasonlóság áll fenn, ha a két rendszerben az egymásnak megfelelő hosszúságok viszonya állandó, ha tehát a főkivitel  $l$  hosszúságának a modellben  $l'$  felel meg, akkor:

$$\frac{l}{l'} = \lambda \quad [1]$$

ahol  $\lambda$  dimenzió nélküli szám a hosszúságok átszámítási tényezője.

Ebből következik, hogy az egymásnak megfelelő  $f$  és  $f'$  területek, illetve a  $T$  és  $T'$  térfogatok arányossága is

$$\frac{f}{f'} = \lambda^2 \quad [2]$$



$$\frac{T}{T'} = \lambda^3 \quad [3]$$

Kinematikai hasonlóság áll fenn, ha a [1] mellett a két rendszerben az egymásnak megfelelő  $t$  és  $t'$  idők viszonya is állandó, vagyis

$$\frac{t}{t'} = \tau \quad [4]$$

ahol  $\tau$  dimenzió nélküli szám, az idők átszámítási tényezője. A [1] és [4] együttes fennállása maga után vonja az egymásnak megfelelő kinematikai mennyiségek arányosságát is.

Ha ugyanis  $v$  és  $v'$  egymásnak megfelelő sebességek, akkor

$$v = \frac{\delta l}{\delta t} \quad , \quad v' = \frac{\delta l'}{\delta t'}$$

$$\frac{v}{v'} = \frac{\delta l}{\delta l'} * \frac{\delta t'}{\delta t}$$

vagyis [1] és [2] figyelembevételével

$$\frac{v}{v'} = \frac{\lambda}{\tau} \quad [5]$$

A Froude-féle modelltörvényben a figyelembe vett fizikai erő a nehézségi erő. Ha tehát a nehézségi gyorsulás a valóságban  $g$  és a modell helyén  $g'$ , akkor

$$P \equiv G = m * g \quad P' \equiv G' = m' * g'$$

ahol  $m$  és  $m'$  valamint  $P$  és  $P'$  a két egymásnak megfelelő tömeg, illetve erő.

Azonban az egymásnak megfelelő  $G$  és  $G'$  nehézségi erők viszonya megkívánt mechanikai hasonlóságnál fogva a  $\pi$  állandó, ezért

$$\frac{G}{G'} = \pi = \frac{m}{m'} * \frac{g}{g'} \quad [6]$$

A Newton-féle általános hasonlósági törvényben szereplő két összefüggés

$$\frac{m}{m'} = \alpha \lambda^3 \quad \pi = \frac{\alpha \lambda^4}{r^2} = \alpha \lambda^4 r^{-2}$$

ezek következtében kell, hogy

$$\frac{\lambda}{r^2} = \frac{g}{g'} \quad [7]$$

Így egy új feltételi egyenletet kapunk, amit  $\lambda$  és  $r$  átszámítási tényezők és a nehézségi erőt jellemző  $g$  és  $g'$  állandóknak kell kielégíteni.

Ha a két folyamat a földnek ugyanazon a helyén megy végbe, vagy ha a  $g$  és  $g'$  nehézségi gyorsulások közötti kicsi különbséget elhanyagolhatjuk, akkor  $g=g'$  és így

$$\lambda = \tau^2 \quad [8]$$

A [8] egyenletet olyan alakra hozzuk, hogy a baloldalon a  $\lambda$  és  $r$  helyett a hosszúságok és a sebességek szerepeljenek, ekkor [5] és a Newton-féle hasonlósági törvény figyelembevételével kapjuk

$$\frac{v^2 * l'}{v'^2 * l} = \frac{g}{g'}$$

$$\frac{v^2}{g * l} = \frac{v'^2}{g' * l'} = F \quad [9]$$

ahol  $F$  egy dimenzió nélküli állandó szám, az úgynevezett Froude-féle jellemző szám.

Az [9] egyenlettel kifejezett törvényszerűséget nevezzük Froude-féle modelltörvénynek.

Eszerint ha a két folyamatban a nehézségi erőt kell figyelembe venni, mint fizikai erőt, akkor a dinamikai hasonlóság megkívánja, hogy mindkét folyamatban – a főkivételben és a modellben – a sebességnégyzetnek és a hosszúság meg a nehézségi gyorsulásból alkotott szorzatnak a viszonya ugyanazt az állandó számot adja (4).

A most vizsgált modellezési kísérletben azonban torzított modellt alkalmazunk, tehát a vízszintes a függőleges méreteket különböző arányban kicsinyítjük, így az esés méretszorzója

$$\lambda_s = \frac{\lambda_v}{\lambda_h} \quad [10]$$

ahol  $\lambda_v$  a függőleges míg  $\lambda_h$  a vízszintes méretek méretszorzója (7).

### 3.2 A főkivétel

A hazai Felső-Duna nagybajcsi szakaszára számos sarkantyút építettek be. Ez valamint még az a tulajdonsága, hogy közel egyenes, pont megfelelővé teszi arra, hogy ezt a szakaszt vegyem főkivételnek.



*5. ábra A magyarországi Felső-Duna nagybajcsi szakasza (14)*

A mérések során a laborban úgy állítottam be az alap paramétereket, hogy a mérések könnyen kivitelezhetők, értelmezhetők legyenek, illetve mérőeszközök és a csatorna adottságai által állított korlátok között maradjon.

A vizsgált helyszínt magam is bejártam és szemügyre vettem az ott található kavicspadok felmérését célzó mérések keretein belül. Így saját szememmel is láthattam hogyan hat a környezetére egy ilyen műtárgy, illetve segített, hogy ezután ismertem valós méreteit és nem csak a modell alapján volt elképzelésem a sarkantyúkról.



6. ábra A főkivetelként felvett helyszín bejárása

Átszámolva a főkivetelre ezek a paraméterek a következő értékeket mutatják

- $B_v$  – valós mederszélesség = 300 méter
- $Q_v$  – valós vízhozam = 6200 m<sup>3</sup>/s
- $U_v$  – valós vízsebesség = 2,75 m/s

Az így kapott 6200 m<sup>3</sup>/s -os vízhozamot a hullámtéri vízszállítást levonva egy 10 éves visszatérésű árhullámnak lehet megfeleltetni.

### 3.3 Számítási háttér

#### 3.3.1 Sarkantyúk nélküli eset

A csatornában sarkantyúk nélküli helyzetben úgy lett beállítva a vízszint, hogy a vízmozgás egyenletes legyen, így ekkor lehetséges volt a Chézy-képlet alkalmazása

$$U = \sqrt{\frac{g}{C_f}} H^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}} = C_z \sqrt{g} H^{\frac{1}{2}} S^{\frac{1}{2}} \quad [11]$$

ahol  $H$  a szelvényben lévő vízmélység,  $S$  az energiavonal esése,  $C_f$  pedig a mederellenállási tényező.

Az egyenletben szereplő  $C_f$  és  $C_z$  közötti kapcsolat:

$$C_z = C_f^{-\frac{1}{2}} \quad \text{ahol } C_z = \alpha_r \left( \frac{H}{k_s} \right)^{\frac{1}{6}} \quad [12]$$

ahol  $\alpha_r$  egy dimenzió nélküli konstans, aminek értéke 8 és 9 között alakul, számolásomban az értéke 8.1, továbbá  $k_s$  a meder átlagos durvaságát jellemző érték, amiből számolni tudjuk a mederalj jellemző szemcsenagyságát

$$k_s \cong n_k D_{90} \quad [13]$$

ahol  $n_k$  egy dimenzió nélküli konstans, aminek értéke 1.5 és 3 között alakul, számolásomban 1.5,  $D_{90}$  pedig mederalj jellemző szemcsenagysága.

Ezekből az összefüggésből kiindulva számolunk egy alap mederellenállási értéket erre az esetre, amihez később a sarkantyúk által befolyásolt állapotot hasonlítani tudjuk. Továbbá ellenőrizzük, hogy az itt mért értékek alapján számolt  $D_{90}$  elfogadhatóan reális érték-e. (2)

### 3.3.2 Sarkantyúk behelyezése utáni eset

A sarkantyúk behelyezésével megváltozik a helyzet, mert azok lokális visszaduzzasztásokat okoznak, így a vízmozgás fokozatosan változó lesz. Ennek következtében már nem alkalmazhatjuk a [11] összefüggést.

A prizmatikus, téglalapszelvényű medrekben kialakuló szabadfelszínű permanens, fokozatosan változó vízmozgás differenciál egyenlete

$$\frac{\delta H}{\delta l} = \frac{S_0 - S_f}{1 - Fr^2} \quad [14]$$

ahol  $S_0$  mederesés,  $S_f$  az energiavonal esése (angol szakirodalomban friction slope -nak, azaz „súrlódási esésnek” nevezik, ami jelen esetben jobban felel meg a kifejezni kívánt értéknek),  $Fr^2$  pedig a Froude-szám négyzete aminek számítása (1)

$$Fr^2 = \frac{U^2}{g * H} \quad [15]$$

A [14] egyenletet átalakítva kapjuk  $S_f$ -re a következő összefüggést (6)

$$S_f = \frac{\tau_b}{\rho * g * H} = C_f \frac{U^2}{g * H}$$

ami [15] figyelembe vételével

$$S_f = C_f * Fr^2 \quad [16]$$

A mérésekben  $C_f$  mederellenállási tényezőt fogjuk számolni, a többi adat rendelkezésünkre áll, [16]  $C_f$ -re rendezésével a következőt kapjuk

$$C_f = \frac{S_f}{Fr^2} \quad [17]$$

Ezzel az összefüggéssel már meg tudjuk mutatni, hogy sarkantyúk milyen mértékben növelik a mederellenállás értékét, illetve ez hogyan változik különböző sarkantyúméretek vagy különböző méretű sarkantyúk közti közök felvétele esetén.

A [17] által számolt  $C_f$  már magában foglalja az ellenállások helyi és súrlódási veszteségét. Ezt az Einstein Partíció alapján lehetséges

$$\tau_{bf} = \bar{\tau}_b - \tau_{bs} \quad [18]$$

ahol  $\tau_{bf}$  a csúsztatófeszültség,  $\bar{\tau}_b$  és  $\tau_{bs}$  pedig a felületi érdességből és a mederformák alakjából származó csúsztatófeszültségek.

Így [16] szerint szétválasztható két külön összefüggésre

$$\bar{\tau}_b = \rho C_f U^2 \quad [19]$$

illetve

$$\tau_{bs} = \rho C_{f,s} U^2 \quad [20]$$

Most pedig [19] és [20] egyenletek ellenállási értékre rendezésével tudunk következő képpen számolni

$$C_f = C_{f,s} + C_{f,f} \quad [21]$$

A mérési eredményeink  $C_f$  értékei a behelyezett sarkantyúk esetében tehát [19] által kifejezett értéket mutatják (1).

## 4. Mérések

### 4.1 Laboreszközök bemutatása

A méréseket a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem vízépítési laboratóriumában végeztem. Itt egy közel 8 méter hosszú csatorna állt a rendelkezésemre, aminek a befolyása előtt egy mérőbukóval lehetett beállítani a kívánt vízhozamot, a kifolyásnál pedig egy vízszínszabályozó bukóval lehetett szabályozni a vízmélységet.

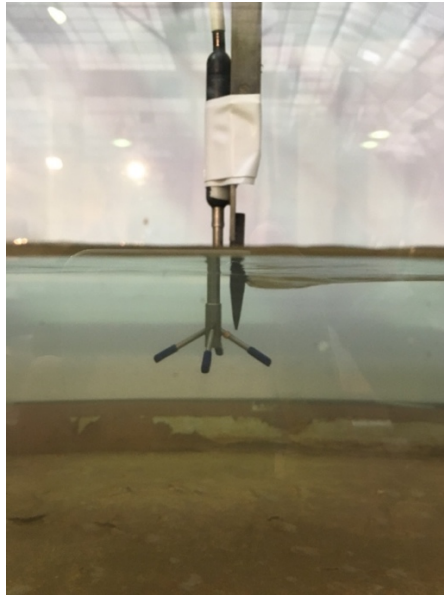


7. ábra A vízépítési laboratóriumban található csatorna

A feladatomban a rendelkezésre álló eszközök mérésre alkalmasságának ellenőrzésével, illetve paramétereiknek felvételével kezdődött. Elsőként a mederfenék felmérése, amit egy referencia szintre beállított lézer szintezőműszerrel és mérőtűvel végeztem, a csatorna teljes hosszán 20 centiméterenként 3 pont magasságát mértem meg, ezeket aztán átlagoltam az adott szelvényre.

Következő lépése a mérőbukó által jelzett vízhozam értékek helyességének ellenőrzése volt. Ennek méréséhez ADV (3) műszert használtam, ami a vízsebességről szolgáltatott adatokat.

Ebből a szelvény nedvesített területének ismeretében tudtam kiszámolni egy vízhozamot, amit összevettem a mérőbukón beállított mennyiséggel.



8. ábra A mérőtűre felerősített ADV mérő

#### 4.2 Kísérleti mérések

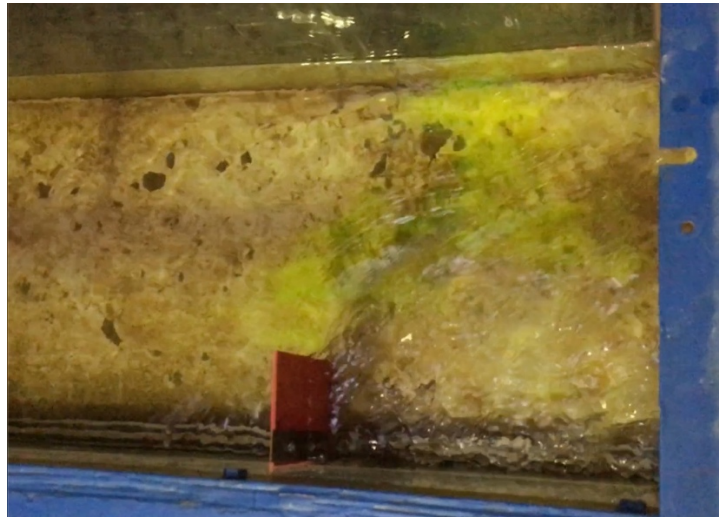
Az eszközök ellenőrzése után beállítottam az alap paramétereket – vízhozam, vízszint – a szükséges szintre és elvégeztem az első mérést, még üres, sarkantyú nélküli mederre. Később ezeket a paramétereket nem változtattam, így a sarkantyúk behelyezése után az adott vízhozamú vízfolyás megváltozott vízszintjeiből tudtam következtetni a sarkantyúk által okozott hatásokra. Ezeket a megváltozott vízszinteket a mederszint felméréséhez hasonlóan a szintező lézer és a mérőtű segítségével mértem.



9. ábra Vízszint leolvasásához használt mérőtű

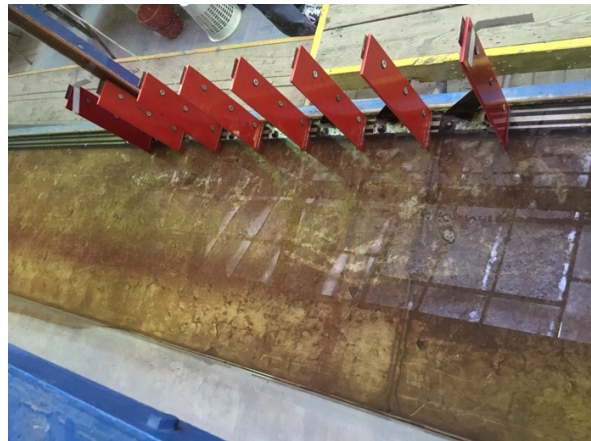
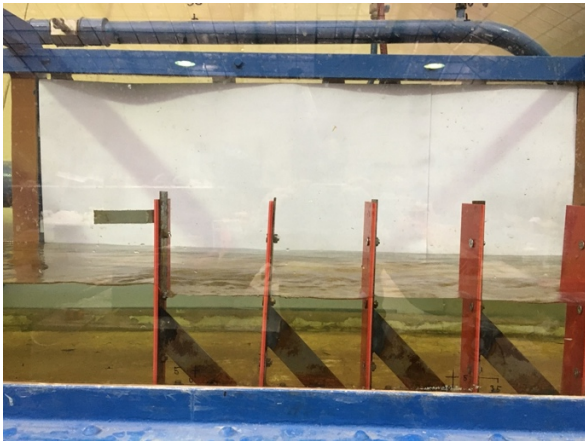


Fontos adat még a számolások szempontjából, hogy a sarkantyúk mennyire szűkítik be a medret. Ennek a mértékét úgy állapítottam meg, hogy a vizet megfestettem és a festék levonulását videóval rögzítettem. Utána a videók vizsgálatával szemlélet alapján, illetve korábbi mérések eredményeit figyelembe véve vettem fel a szűkített medrek szélességét. Ezekre később végeztem érzékenységvizsgálatot, hogy lássam mennyire befolyásolja az eredményeket, ha a szemlélet alapján felvett effektív mederszélesség értéke hibás.



10. ábra Megfestett vízfelszín, effektív mederszélesség alakulásának megfigyelésekor

Maguk a sarkantyúk kemény műanyagból lettek kivágyva és a csatornába egy L-kötőelemre lehetett őket rögzíteni. Az így egymástól függetlenül beszerelhető sarkantyúkat a csatornában elhelyezett sínhez lehetett rögzíteni, ami lehetővé tette azok a csatorna majdnem teljes hosszán való eltolását. Ilyen sarkantyúkból három méret készült, a meder szélességének 1/2, 1/4 és 1/8-ára benyúló, 8-8 darabból álló sorozat. Ezek könnyű ki-beszerelhetősége és a mozgathatósága jelentősen könnyítette a különböző méretek közti változtatásokat.



11. ábra Beszerelt sarkantyúsorok

A sarkantyúk között a távolság-mederszélesség arány szerint 1/4, 1/2, 1, 2 és 4-es távolságok esetét mértem, ami az adott 50 centiméteres mederszélesség esetén 12.5, 25, 50, 100 és 200 centimétert jelentettek.

A jellemző paraméterek arányossági tényezői a kismintamodellezés részben leírtak alapján

$\alpha$	CB	CH	Ct	$\pi$	CU	CRe	CQ	CCf
1	600	50	84,90	17979997,25	7,07	353,55	212132,03	0,083

A táblázatban szereplő jelölések rendre a sűrűség, a vertikális hossz, a horizontális hossz, az idő, a sebesség, a Reynold szám, a vízhozam és az ellenállási tényező arányossági tényezői.

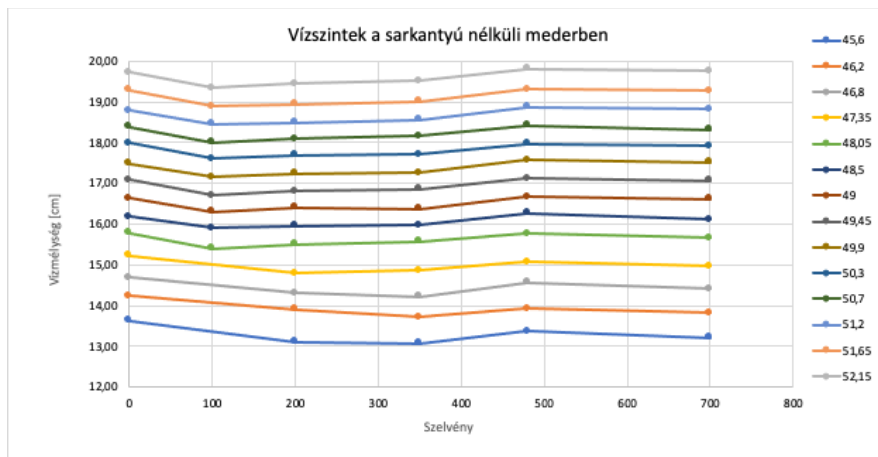
Végül az eredményeket a meghatározott arányossági tényezőkkel átszámoljuk a főkivitel méreteire.

	Q [m <sup>3</sup> /s]	B [m]	U [m/s]	H [m]
Minta érték	0,029	0,5	0,39	0,15
Valós érték	6200	300	2,75	7,52

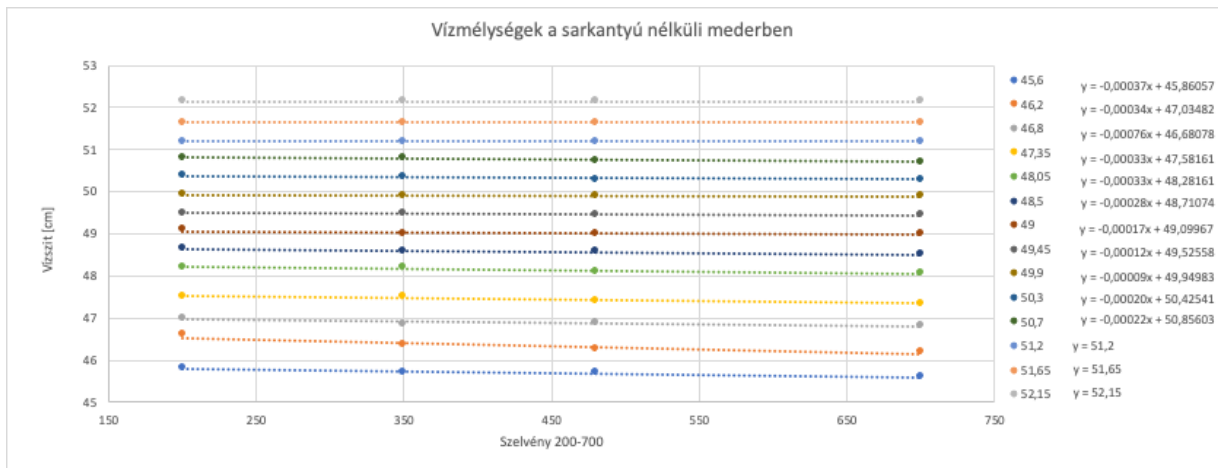
## 5. Eredmények

### 5.1 Sarkantyúk nélküli eset

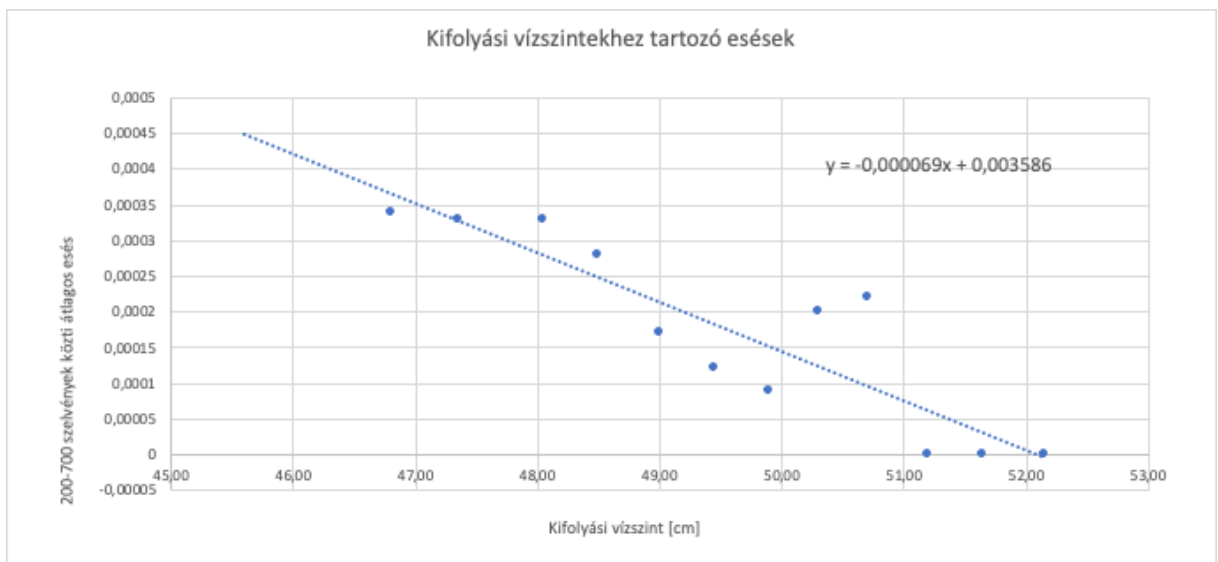
A mérések első fázisa, a sarkantyú nélküli mederben történt, ennek célja a mérőbukón beállított 29 l/s -os vízhozam mellett olyan magasságú beállítása a kifolyási vízszínszabályozási bukónak, hogy a vízszint esése egyenlő legyen a meder esésével a 200 és 700 szelvények között, azaz a permanens vízfolyás egyenletessé tétele. Ezt számos kifolyási vízszintre leellenőriztem



12. ábra Kifolyási vízszintekhez tartozó vízfelszínek alakulása



13. ábra Kifolyási vízszintekhez tartozó vízmélységek változása



14. ábra A Kifolyási vízszintekre vizsgált esések alakulása

Az itt felvázolt eredmények azt mutatják, hogy a kifolyási vízszint 47,35 centiméteres állása biztosítja számunkra a megfelelő, mederrel párhuzamos esésvonalat.

Miután ezt a kívánt állapotot beállítottuk, lemértük a vízszinteket a ki- és befolyási (700-0) szelvények között, és az így kapott eredmények alapján a [11] és összefüggéssel kiszámoltam a meder sarkantyú nélküli ellenállását, ami

$$C_f = 0,00325$$

A [12] egyenletből kifejezve  $k_s$  értéke

$$k_s = 1,4 \text{ mm}$$

végül ebből számítva [13]

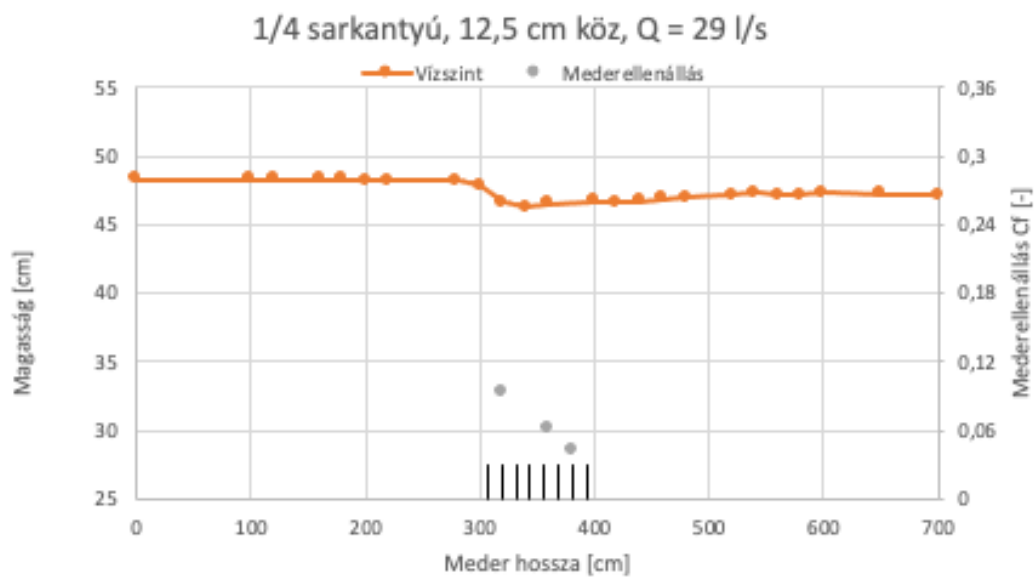
$$D_{90} \approx 0,5 - 1 \text{ mm}$$

Ismerve és szemrevételezve a csatorna felületét, a 0,5-1 mm-es szemcsenagyság okozta érdekességet reálisnak értékeltük, így az ellenállási  $C_f$  értéket is elfogadhatónak tartjuk.

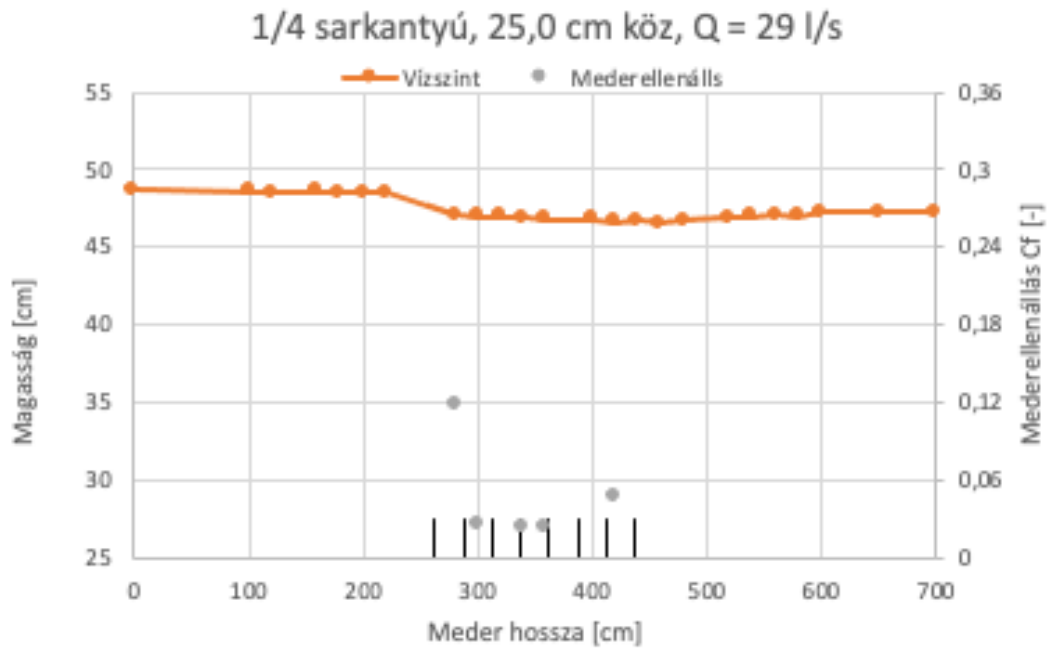
## 5.2 Sarkantyúk által befolyásolt eset

### 5.2.1 $C_f$ ellenállás számítása

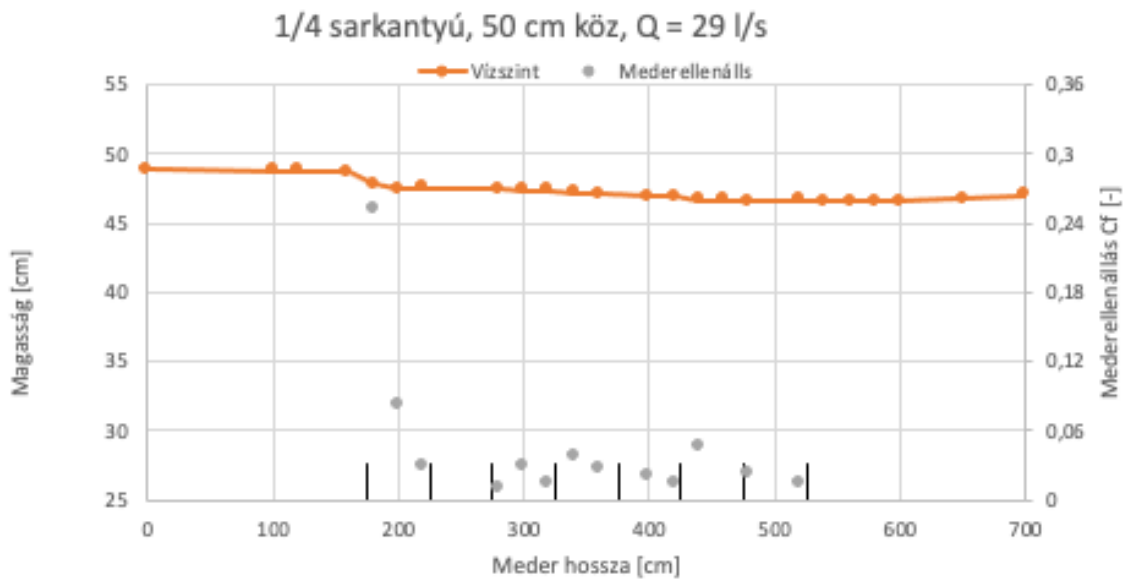
A sarkantyúk behelyezése után a mederellenállás  $C_f$  értékét a [17] egyenlettel számoljuk, ezek az eredmények megmutatják, hogy a sarkantyúk különböző mérete és egymástól való távolsága hogyan változtatja az ellenállást



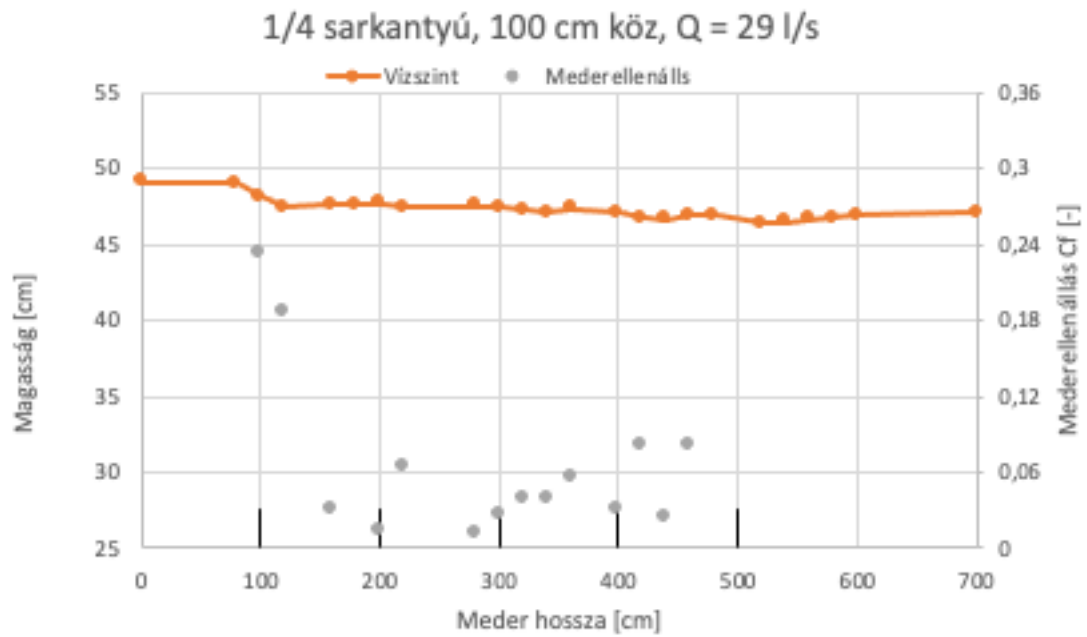
15. ábra Mederellenállás 1/4 méretű sarkantyú és 12,5 cm köztes távolság esetén



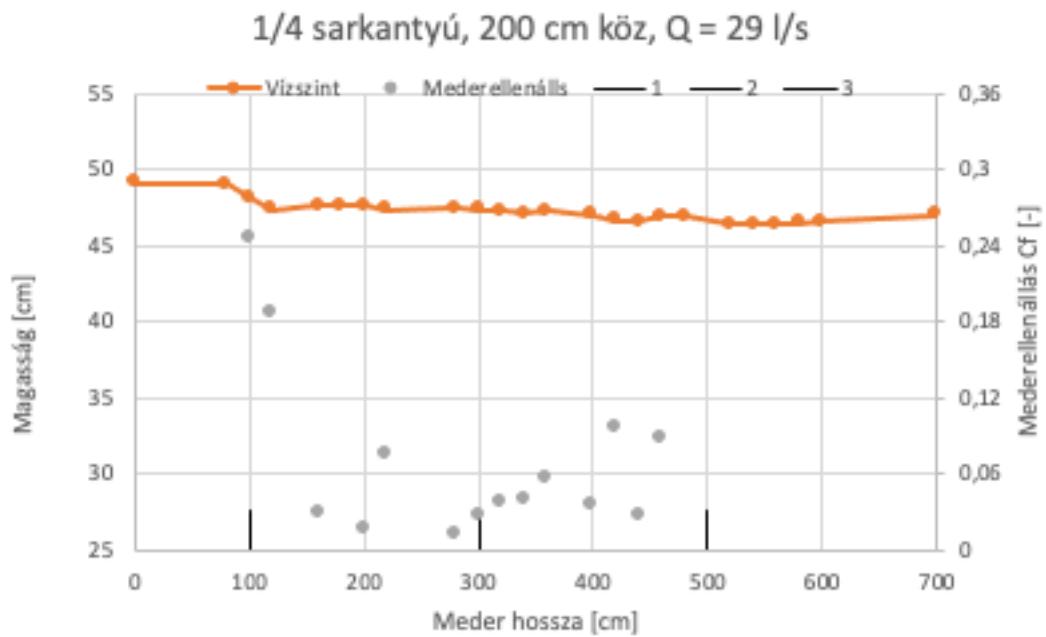
16. ábra Mederellenállás 1/4 méretű sarkantyú és 25 cm köztes távolság esetén



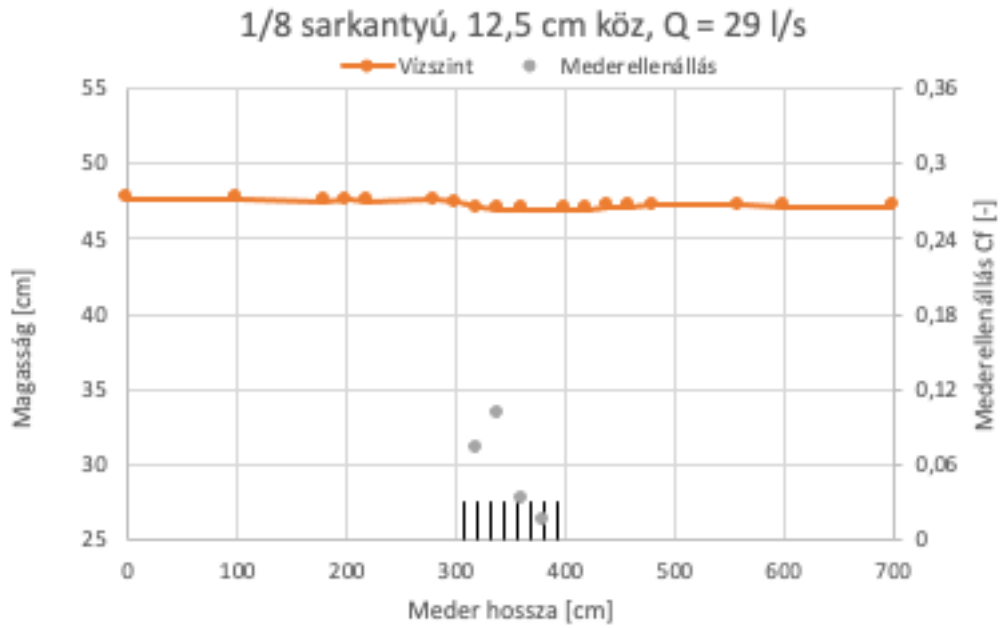
17. ábra Mederellenállás 1/4 méretű sarkantyú és 50 cm köztes távolság esetén



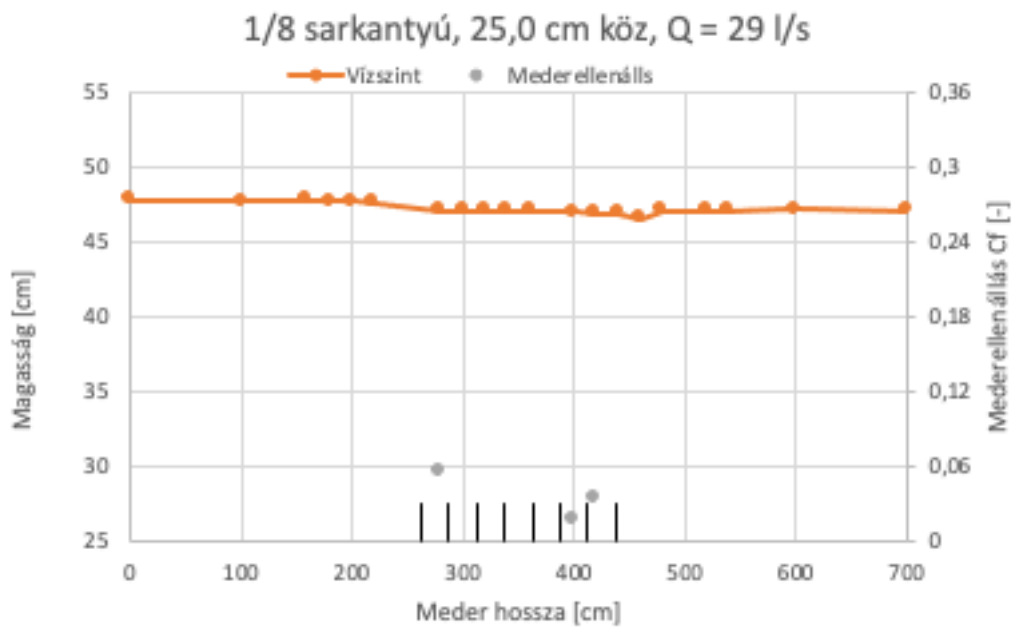
18. ábra Mederellenállás 1/4 méretű sarkantyú és 100 cm köztes távolság esetén



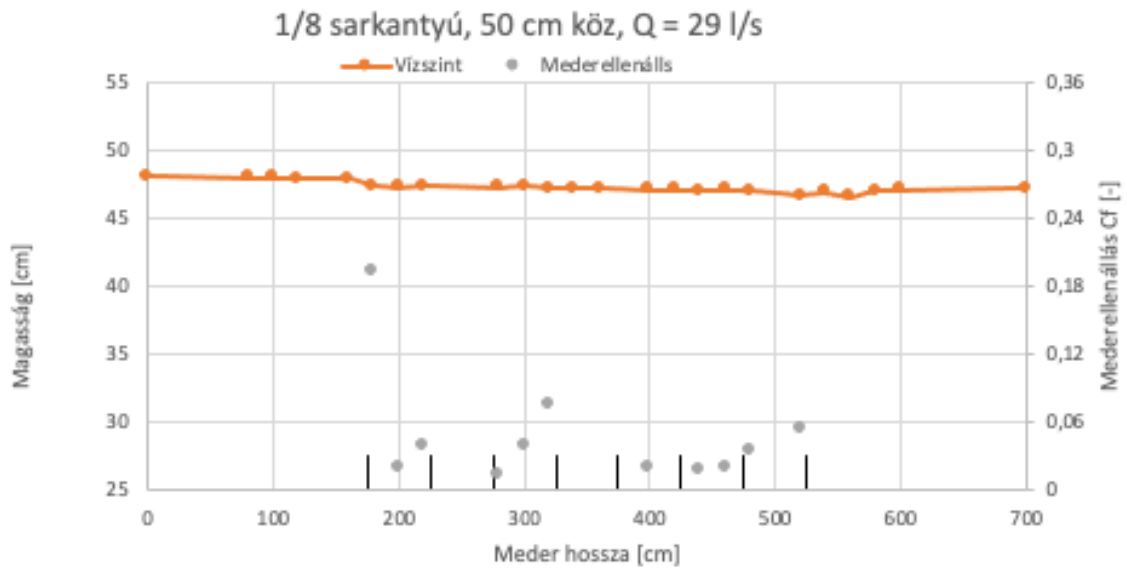
19. ábra Mederellenállás 1/4 méretű sarkantyú és 200 cm köztes távolság esetén



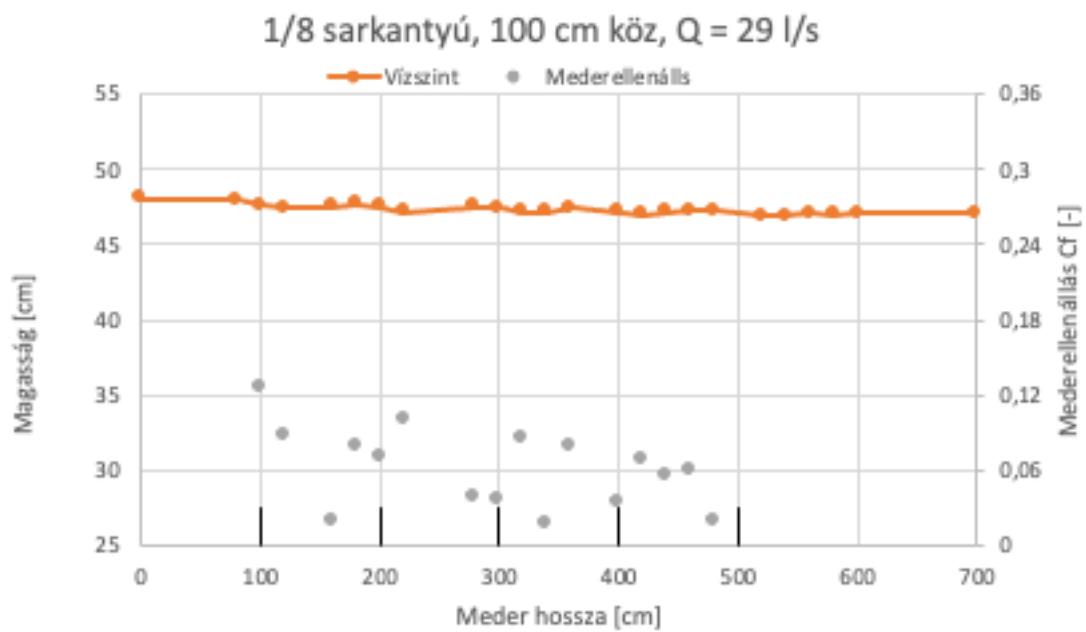
20. ábra Mederellenállás 1/8 méretű sarkantyú és 12,5 cm köztes távolság esetén



21. ábra Mederellenállás 1/8 méretű sarkantyú és 25 cm köztes távolság esetén

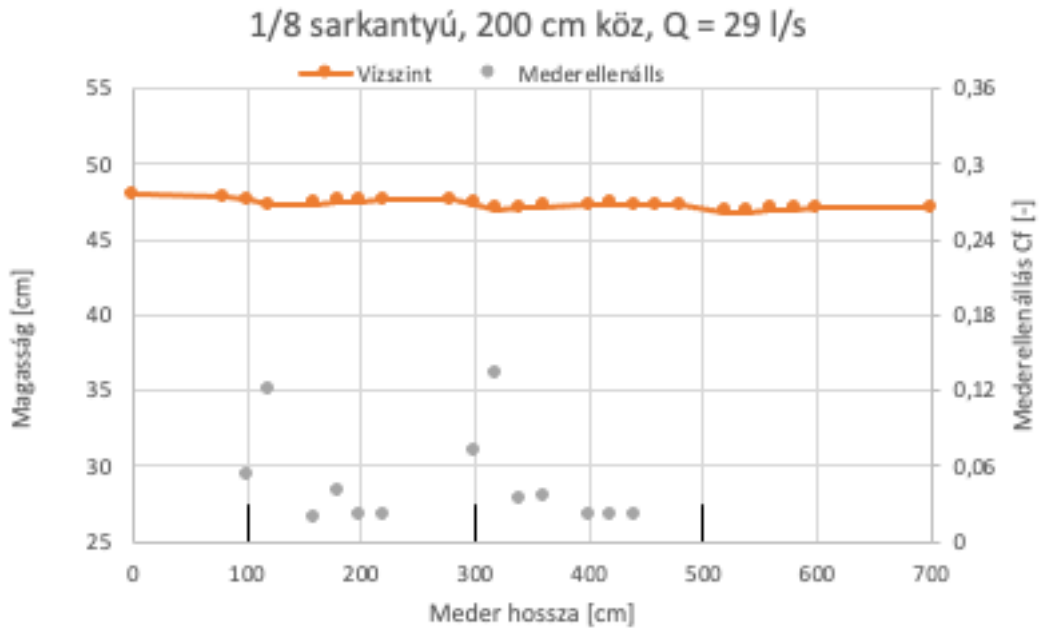


22. ábra Mederellenállás 1/8 méretű sarkantyú és 50 cm köztes távolság esetén



23. ábra Mederellenállás 1/8 méretű sarkantyú és 100 cm köztes távolság esetén

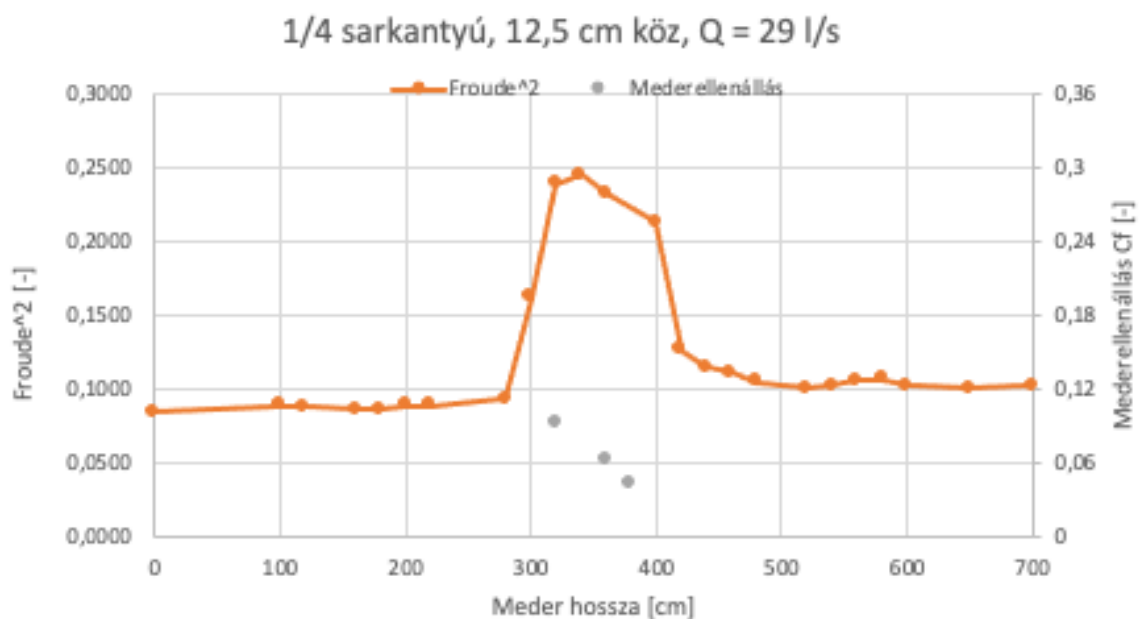




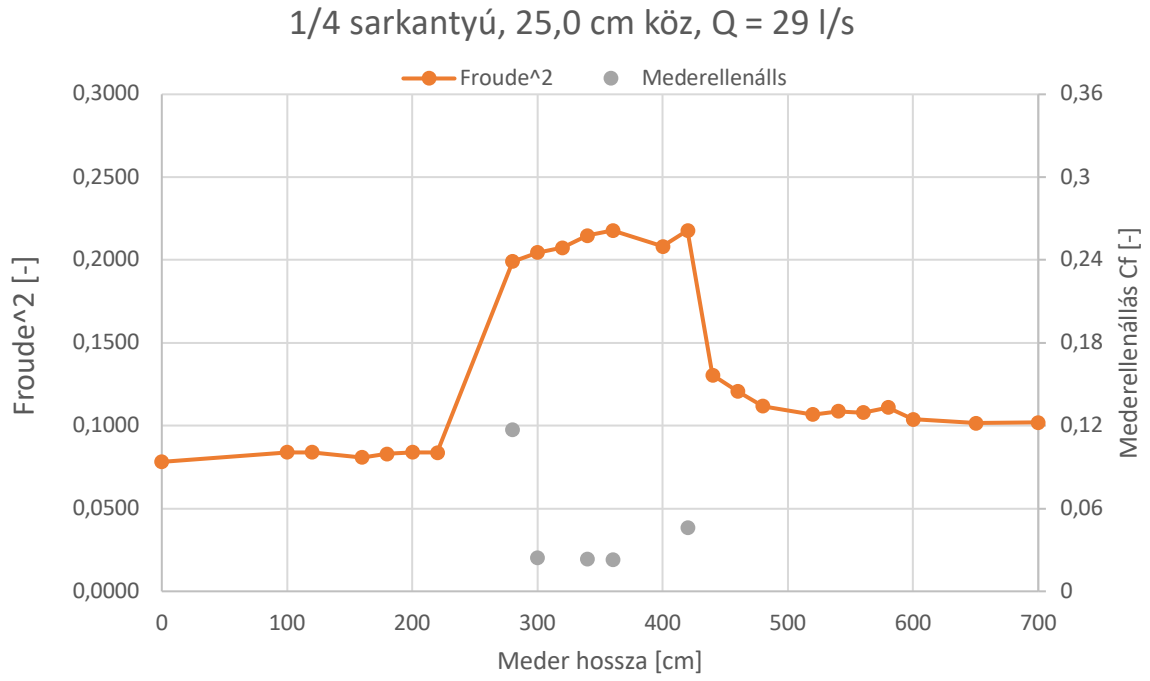
24. ábra Mederellenállás 1/8 méretű sarkantyú és 200 cm köztes távolság esetén

### 5.2.2 A Froude-szám négyzet értékének alakulása

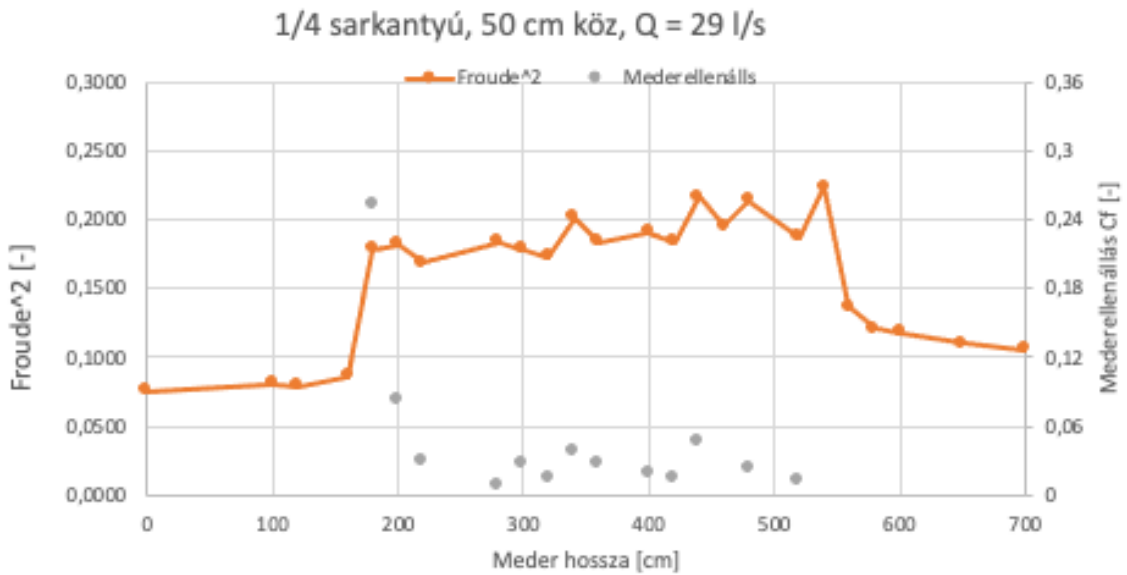
A feltevést tovább vizsgáltam úgy, hogy ábrázoltam az egyes sarkantyú elrendezések Froude-szám négyzetek változását



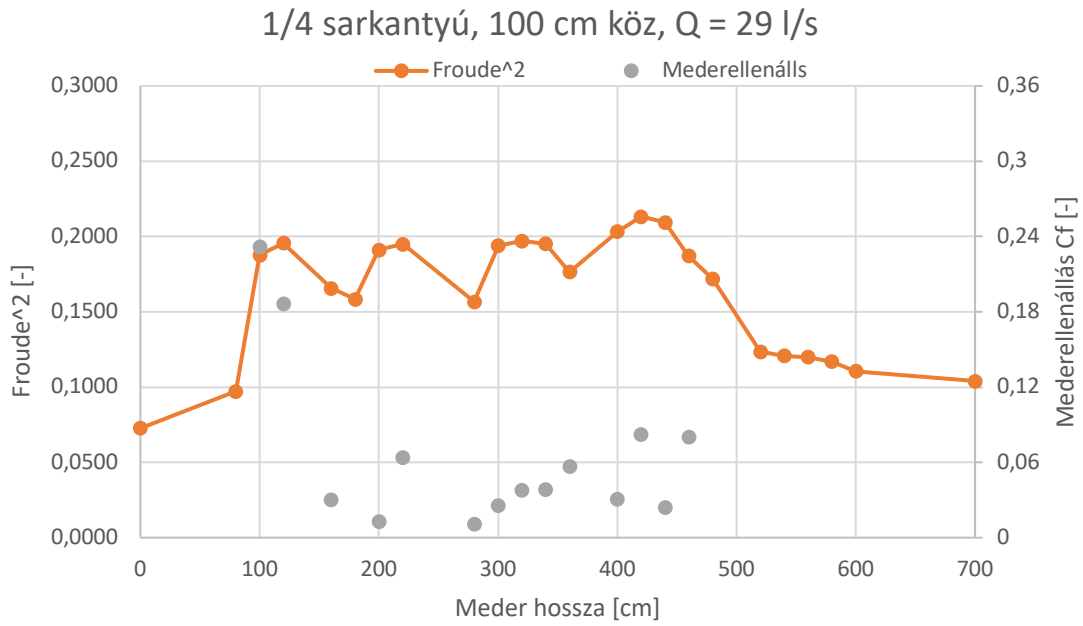
25. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/4 méretű sarkantyú és 12,5 cm köztes távolság esetén



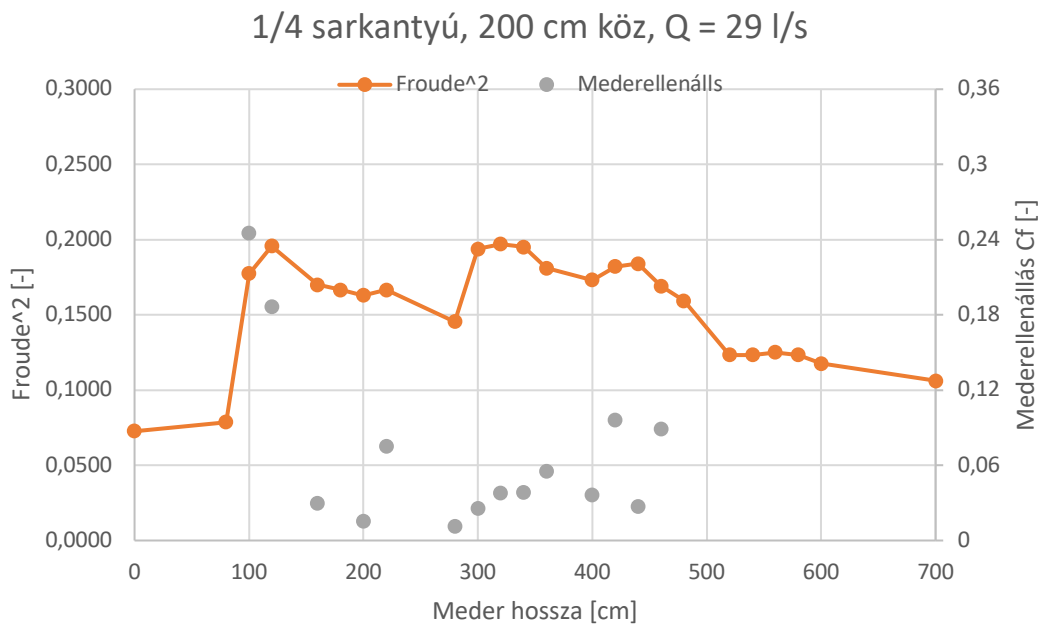
26. ábra 22. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/4 méretű sarkantyú és 25 cm köztes távolság esetén



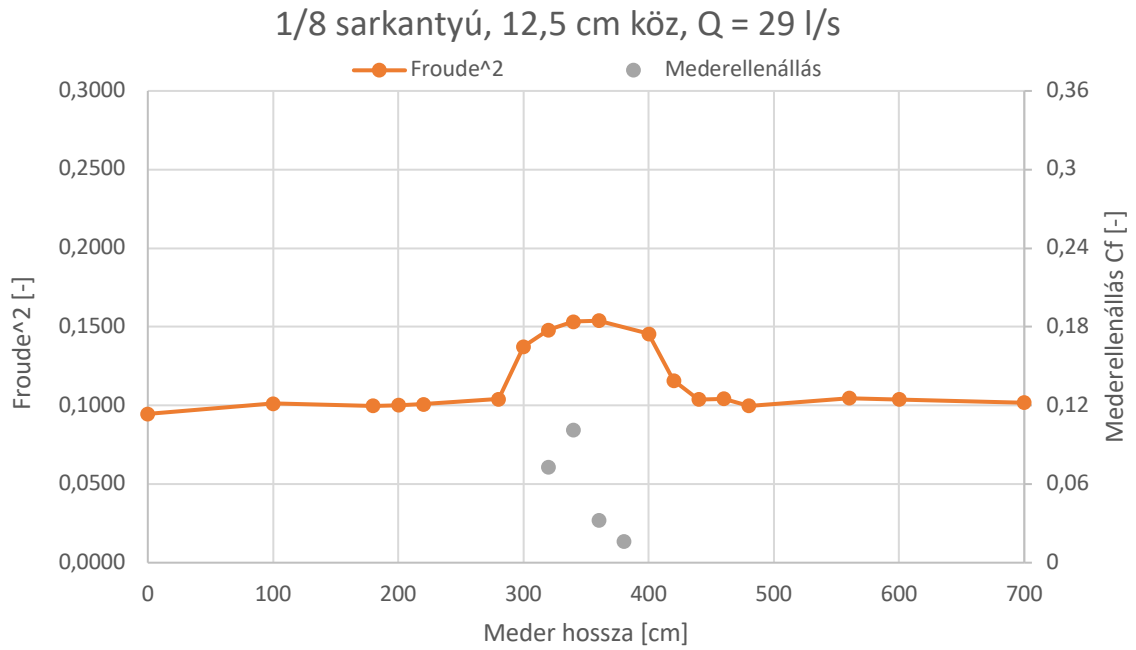
27. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/4 méretű sarkantyú és 50 cm köztes távolság esetén



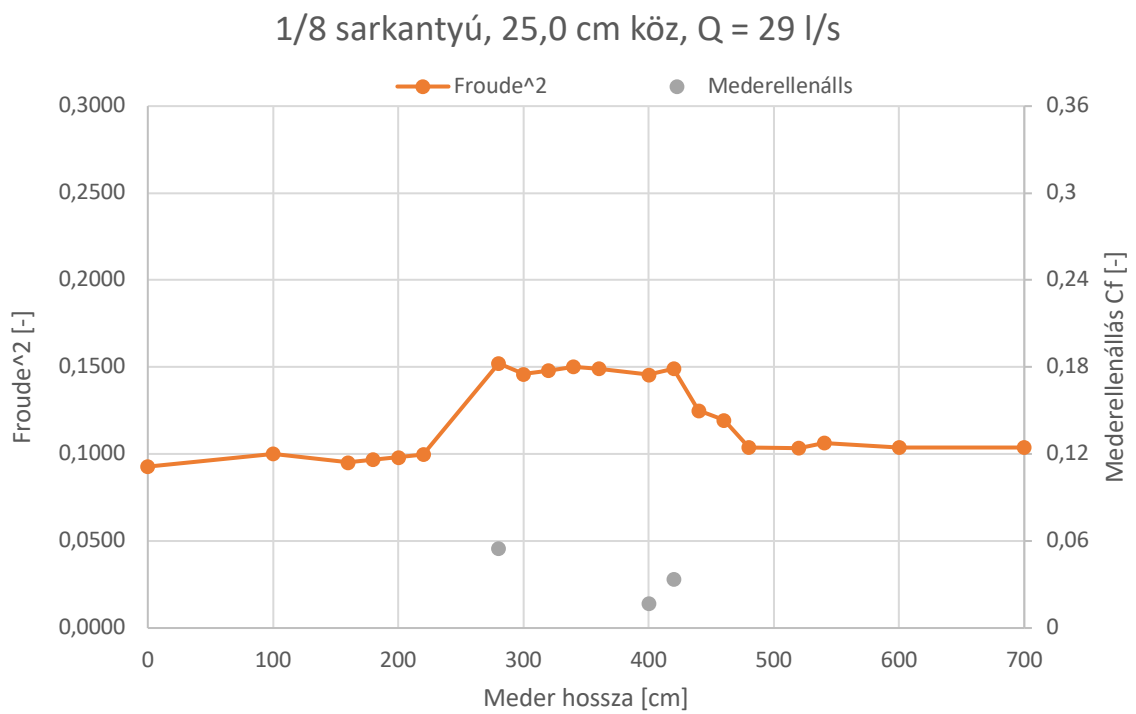
28. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/4 méretű sarkantyú és 100 cm köztes távolság esetén



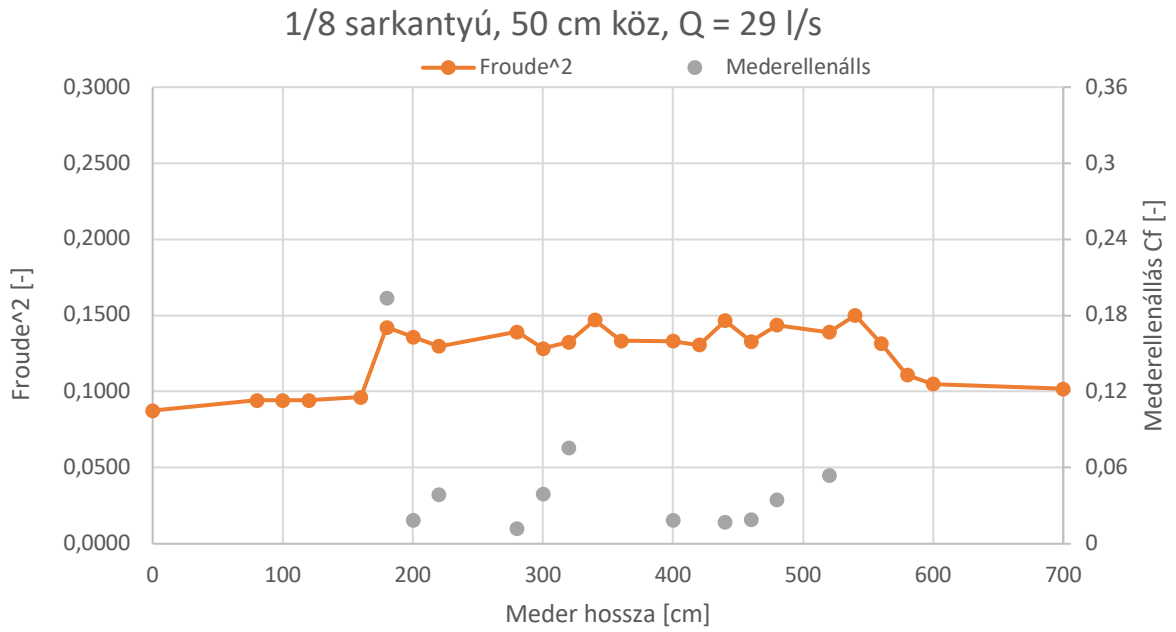
29. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/4 méretű sarkantyú és 200 cm köztes távolság esetén



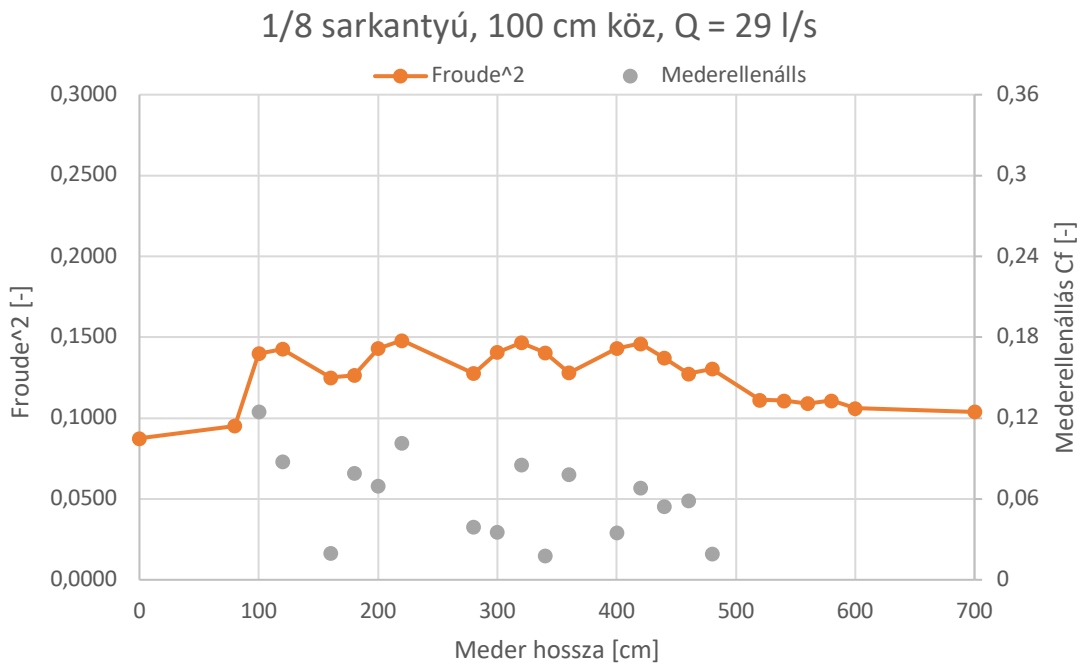
30. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/8 méretű sarkantyú és 12,5 cm köztes távolság esetén



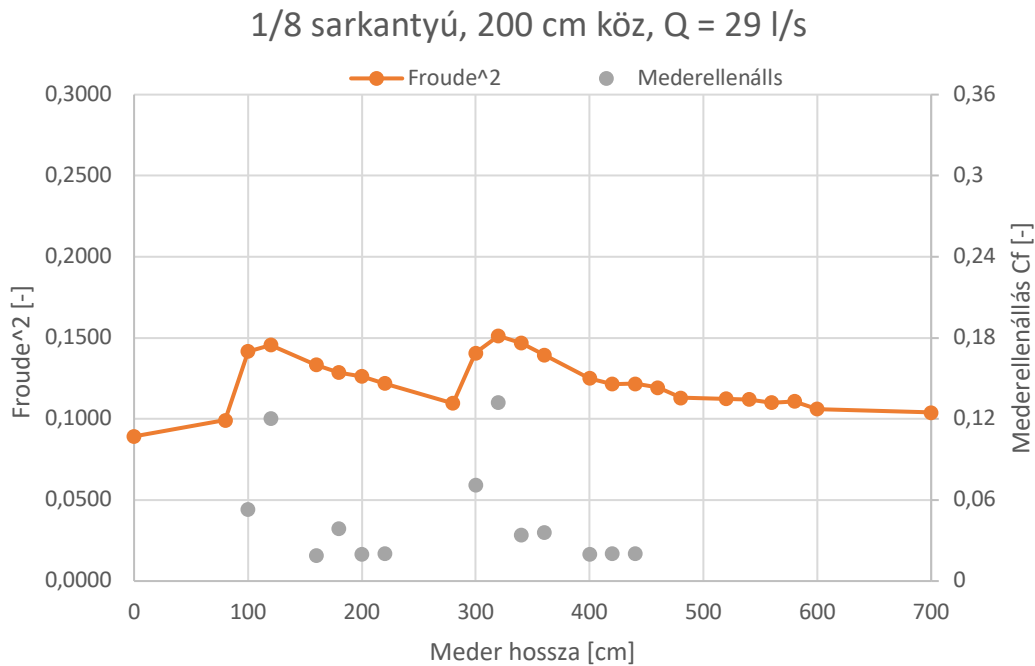
31. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/8 méretű sarkantyú és 25 cm köztes távolság esetén



32. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/8 méretű sarkantyú és 50 cm köztes távolság esetén



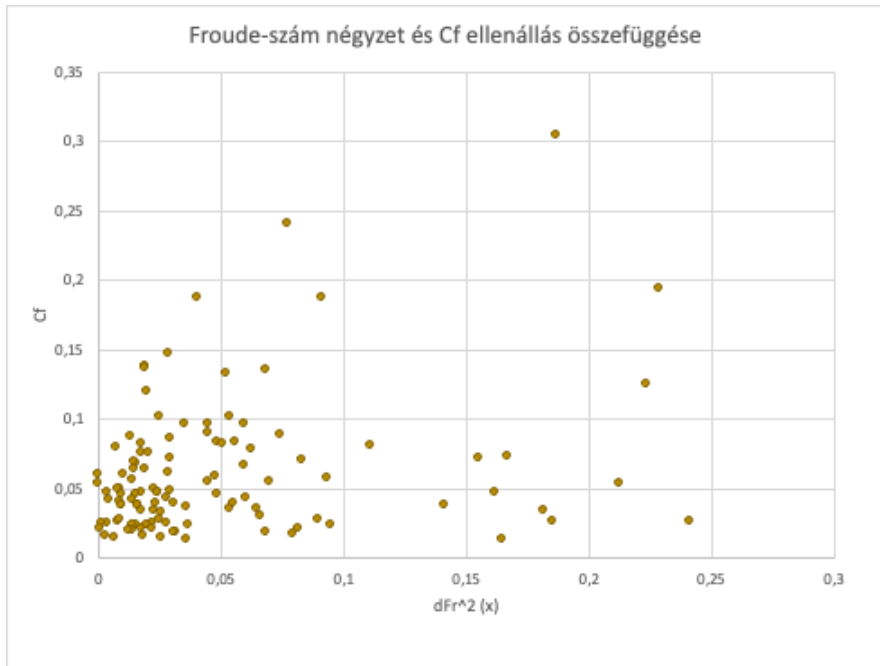
33. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/8 méretű sarkantyú és 100 cm köztes távolság esetén



34. ábra Froude-szám négyzet alakulása 1/4 méretű sarkantyú és 200 cm köztes távolság esetén

Itt jól látszik, hogy míg a sűrűbb sarkantyúknál a Froude-szám négyzet csak egy helyen ugrik nagyot, és utána kisebb tartományban változik, addig a ritkán elhelyezett sarkantyúk esetében az érték minden újonnan elért sarkantyúnál egy jelentős nagyságú ugrik. A jelenséget a csőhidraulikában rövid csővezetékben használt helyi veszteségek és súrlódási veszteségek analógiája segítségével látom magyarázhatónak: sűrű kiosztás esetén csak az első sarkantyúnál jelentkezik egy szűkület okozta helyi veszteség, amit már inkább csak súrlódási veszteség követ (pl. 22., 23., 27., 28. ábrák). Ritka kiosztás esetén viszont egy sarkantyú okozta beszűkített áramkép kiszélesedik a következő sarkantyúig, ezért ott újra jelentkezik a szűkítés okozta ellenállás (29. és 34. ábrák).

A Froude-szám négyzeteket tovább vizsgáltam, kiszámoltam azok hossz szerinti megváltozását és ábrázoltam a  $C_f$  értékek függvényében

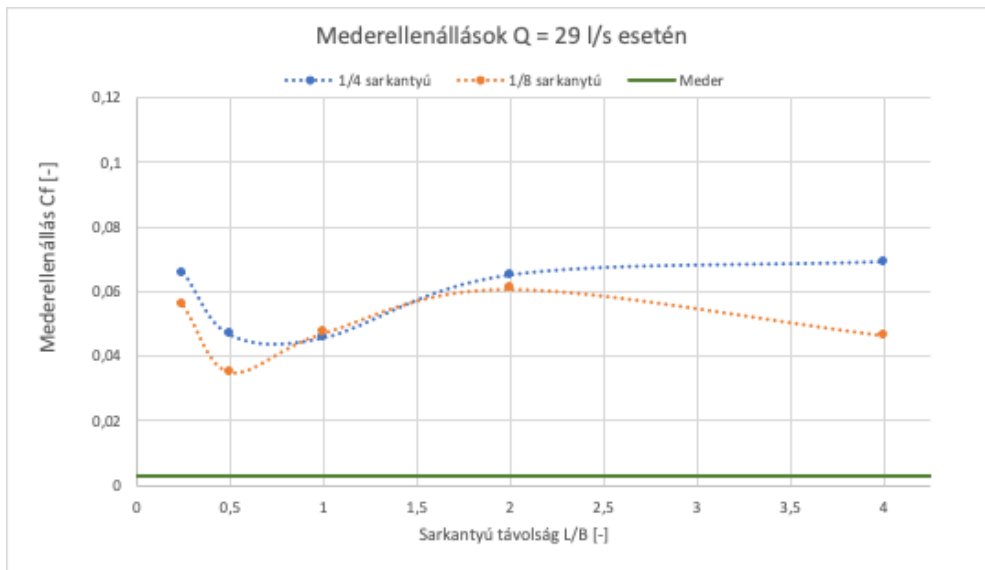


35. ábra  $C_f$  ellenállási tényezők eloszlása a Froude-szám négyzet változásának függvényében

Az értékek jól elkülöníthetően két részre oszlanak, és, a két csoport eloszlása alapján arra lehet következtetni, hogy míg a 1.0 alatti értékek súrlódási veszteségi értékeket, addig a 1.5 feletti értékek helyi veszteségi értékeket jelölnek.

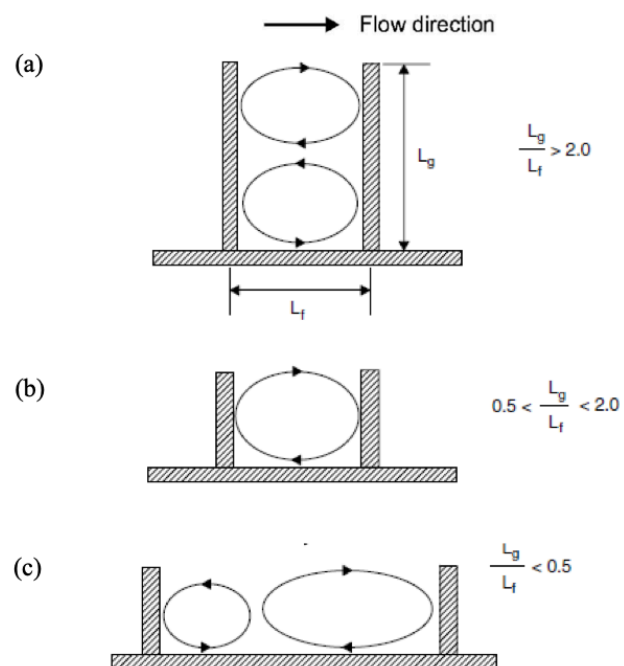
### 5.3 Ellenállási tényező optimuma

Azokon ábrákon, amelyeknél a sarkantyúk közelebb vannak egymáshoz észrevehető, hogy a legelső sarkantyúknál az ellenállási érték ugrásszerűen hirtelen megnő, majd utána a többi szelvényben egy alacsonyabb régióban mozognak. Amikor viszont a köztes távolság elég nagy lesz, 2, 4-es távolságok, akkor azt látni, hogy ez a kiugrás minden sarkantyúnál megismétlődik. Az is feltűnik, hogy a sűrűbben rakott sarkantyús esetekben is eltérő nagyságúak a kiugró értékek. A jelenség alapján arra következtettem, hogy van egy olyan elrendezése a sarkantyúk sűrűségének, ahol ez az örvényképző ellenállás a legkisebb értéket veszi fel



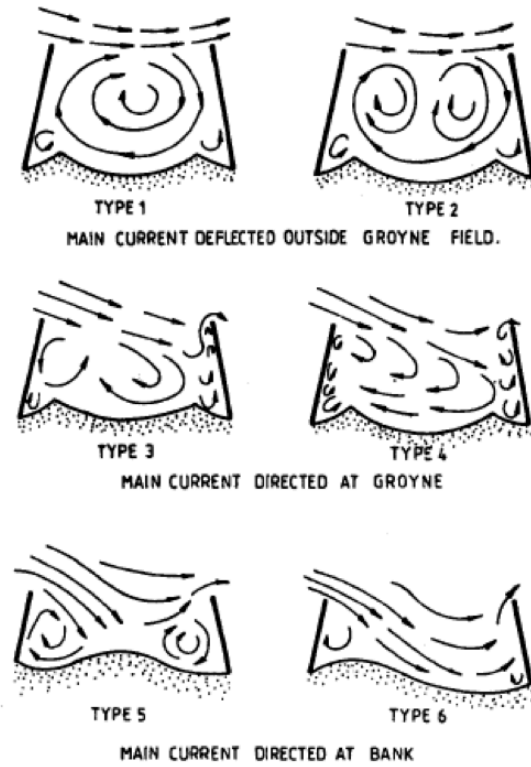
36. ábra Cf ellenállási értékek megjelenítése üres meder, 1/4 és 1/8 nagyságú sarkantyúk esetén.

Erre találtam más szakirodalomban is több példát

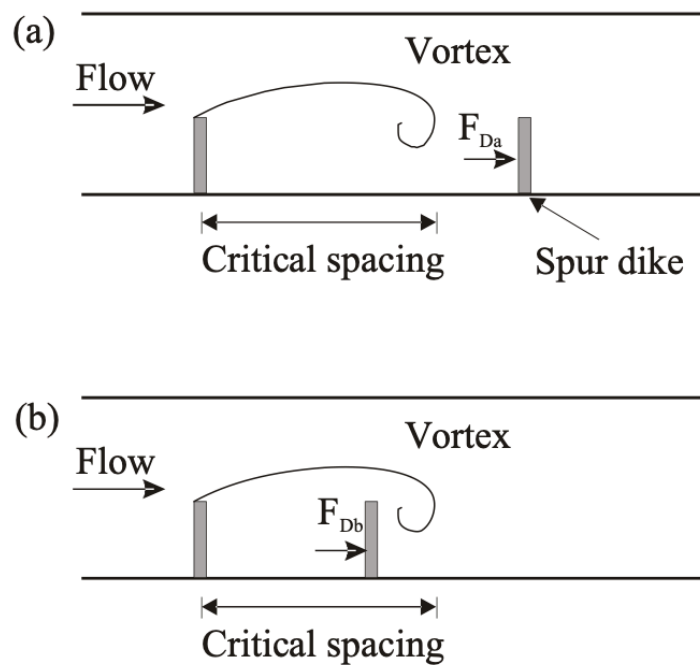


37. ábra Áramlások kialakulása(8)





38. ábra Sarkantyúelhelyezésének hatása az áramlásvonalakra (9)



39. ábra Sematikus ábrázolása a kritikus távolságtól különböző köztávolságoknak, a) kritikus távolságnál kisebb, b) kritikus távolságnál nagyobb (10)

## 6. Összefoglalás

Az irodalomkutatási részben a sarkantyúkkal sűrűn beépített és azok szempontjából sokat vizsgált Mississippi folyóról írtam. Az itt végzett gyakori sarkantyú vizsgálatokra is kitértem, utána áttértem az 1993-as Nagy Áradásra, ami vitát szült a kutatók között, ugyanis sokan ezt illetve a további áradások gyakoriságának növekedését a beépítettség számlájára írták. Végül a beépítés hatásaira hoztam példákat az általam készített összefoglaló dokumentumból.

Az alkalmazott módszerek fejezetben elsőként felállítottam a kismintamodellezés alapvető szabályrendszerét és ismertettem, hogy a később használt arányossági tényezők miként alakulnak. Ezt követően bemutattam a főként tekintett nagybajcsi szakaszt, ahol terepi bejárást is csináltam. A fejezet utolsó része a számítási háttér, ami a Hidrológia I és II tantárgyakban tanult képleteket foglalja magában, amikkel a számításaimat végeztem.

Az Mérésekben részletesen írtam a rendelkezésemre álló laboratóriumi eszközökről, azok elkészítéséről illetve alkalmazásáról. Ismertetésre került a mérések elvégzésének módszertana is, azok kivitelezésének sorrendje és beállításai.

Az utolsó fejezetben az elvégzett mérések eredményeit ismertettem számértékek és ábrák formájában. Felsoroltam az ellenállási tényezők alakulását a különböző sarkantyú méretek és köztávok esetén, továbbá az ugyanezek szerint változó Froude-szám négyzet változásának ábráit is közöltem. Az egészet azzal a gondolattal zártam, miszerint a sarkantyúk elhelyezési távjainak van egy optimuma, ahol az ellenállás a legkisebb értékre csökken és legkevésbé van hatással az áramlásra, hordalékmozgásra és más általa kiváltott folyamatokra.

A kapott eredmények nagyon biztatóak számomra, közel alakultak az előre becsült értékekhez és számításuk során nem merült fel semmi féle ellentmondás. Alátámasztja az eredményeket az, hogy az átszámítások alkalmával mindig reális elfogadható értékek adódtak. Ezzel igazolva, hogy lehetséges a laborban végzett mérésekkel a valós nagyságú vizekben létrejövő hatások vizsgálata.

Azonban fontos megjegyezni, hogy mederváltozást nem vizsgáltam, mert azt a csatorna jelen kialakításában nem lehet megtenni. Ezért az a tervem, hogy 3D numerikus modellt építsek és igazolom a saját méréseim alapján. Abban lehetséges lesz a mederváltozás számítása is. Ilyen formán labor léptékben labormérések és 3D numerikus modell együttesen történő vizsgálata egy lehetséges következő lépésként merül fel.

## 7. Irodalomjegyzék

- ❖ (1): M. Garcia: “Sedimentation Engineering: Processes, Measurements, Modeling and Practice”, American Society of Civil Engineers, ISBN: 978-0-7844-0814-8, 2008
- ❖ (2): G. Parker: “1D Sediment Transport Morphodynamics with applications To Rivers and Turbidity Currents”, e-book. [http://hydrolab.illinois.edu/people/parkerg/morphodynamics\\_e-book.htm](http://hydrolab.illinois.edu/people/parkerg/morphodynamics_e-book.htm), 2004
- ❖ (3): NORTEK 2004. Vectrino Velocimeter User Guide, Nortek AS, Vangkroken 2, NO-1351 RUD, Norway.
- ❖ (4): Dr. Szily József : A vízépítési laboratórium és a modellkísérletezés, Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest 1939.
- ❖ (5): Eos; Assessing Flood Hazard on Dynamic Rivers; Vol.: 82, No.: 31, July 31 2001, Pages: 333-344
- ❖ (6): Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízépítési Tanszék, Hidraulika I-II. HEFOP jegyzet
- ❖ (7): Bogárdi J., Kozák M., Hidraulika II. kötet, Tankönyvkiadó Budapest 1976., 327 p., pp.289-312.
- ❖ (8): Sukhodolov, A., Uijtewaal, W.S.J. and Engelhardt, C. 2002. On the correspondence between morphological and hydrodynamical patterns of groyne fields. Earth Surface Process and Landforms. John Wiley & Sons, 27: 289-305.
- ❖ (9): Yossef, M.F.M. 2002. The effects of groynes on rivers (Literature Review). Delft Cluster Report No. DC1-334-4, Delft University, The Netherlands, 57 p.
- ❖ (10): Abad, J.D., Rhoads, B.L., Guneralp, I. and Garcia, M.H. 2008. Flow structure at different stages in a meander-bend with bendway weirs. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 134(8): 1052-1063.
- ❖ (11): Edward Brauer, P.E. Applied River Engineering Center U.S. Corps of Engineers – St. Louis District; Analyzing the Effects of Navigation Structures; Smart Rivers 2011, September 13-16 2011, Westin Canal Place New Orleans, Louisiana, U.S.A.
- ❖ (12): Jonathan W. F. Remo, Reuben A. Heine and Brian Scott Ickes; Flood Trends and River Engineering on the Mississippi River System; Research Gate, in Geophysical Research Letters, December 2008

- ❖ (13): Pierre Y. Julien and Chad W. Vensel; Review of Sedimentation Issues on the Mississippi River; Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, November 2005
- ❖ (14): Google Maps

## **8. Köszönetnyilvánítás**

Köszönöm Gaglóczy Istvánnak és Szabó Zsoltnak a laborban való segítségükért, amivel lehetővé tették a méréseket. Valamint Dr. Török Gergely és Dr. Farkas Dávid konzulenseimnek a segítséget a mérésekben és a felmerülő kérdésekben.

Jelen TDK munka a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal – NKFIH PD 135037 számú OTKA pályázat támogatásával készült.

## 9. Függelék

Mississippi irodalomkutatás



Sediment system of River Mississippi

**Contents:**

**Introduction** ..... 2

**Stages** ..... 3

**Discharge** ..... 7

**Sediment** ..... 17

**Hydrodynamic and morphodynamic response to river engineering** ..... 30

**Attachments:** ..... 35

**Sources** ..... 40

# **1. Introduction**

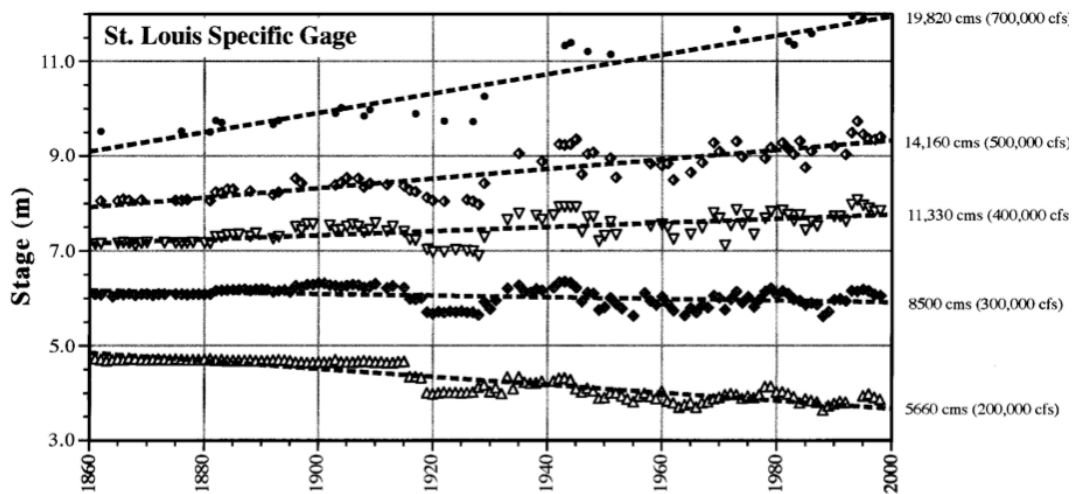
This document collects figures and tables from several articles, studies and reports, about the Mississippi River, mainly about the Middle part of it, at St. Louis and surrounding of the city.

It contains data about:

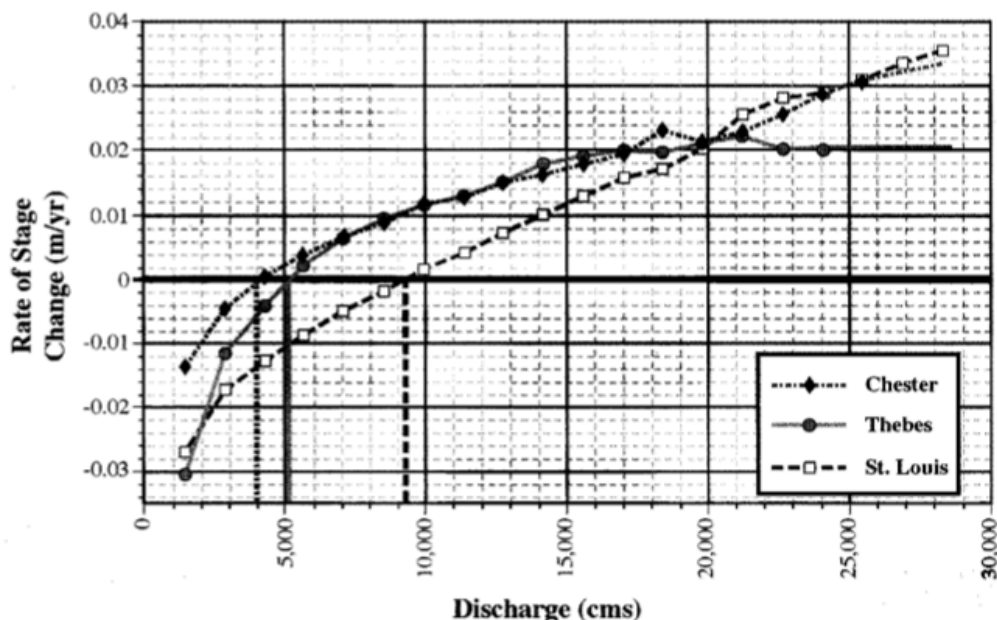
- Discharges,
- Stages and Stage changes,
- Sediment concentrations and compositions,
- Hydrodynamic and morphodynamic responses, caused by river engineering



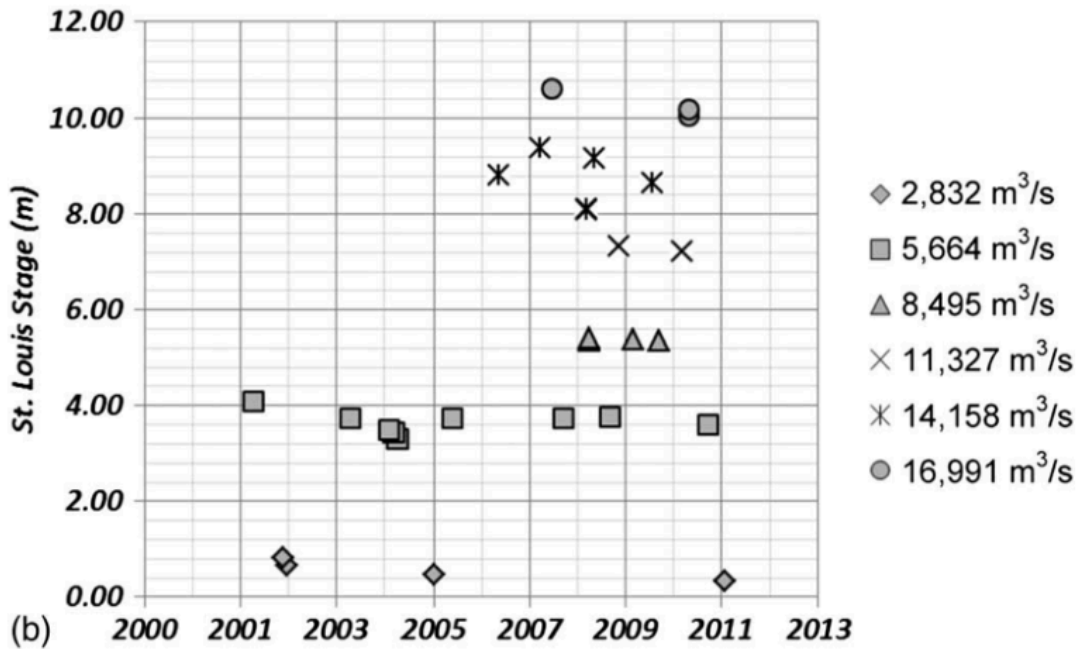
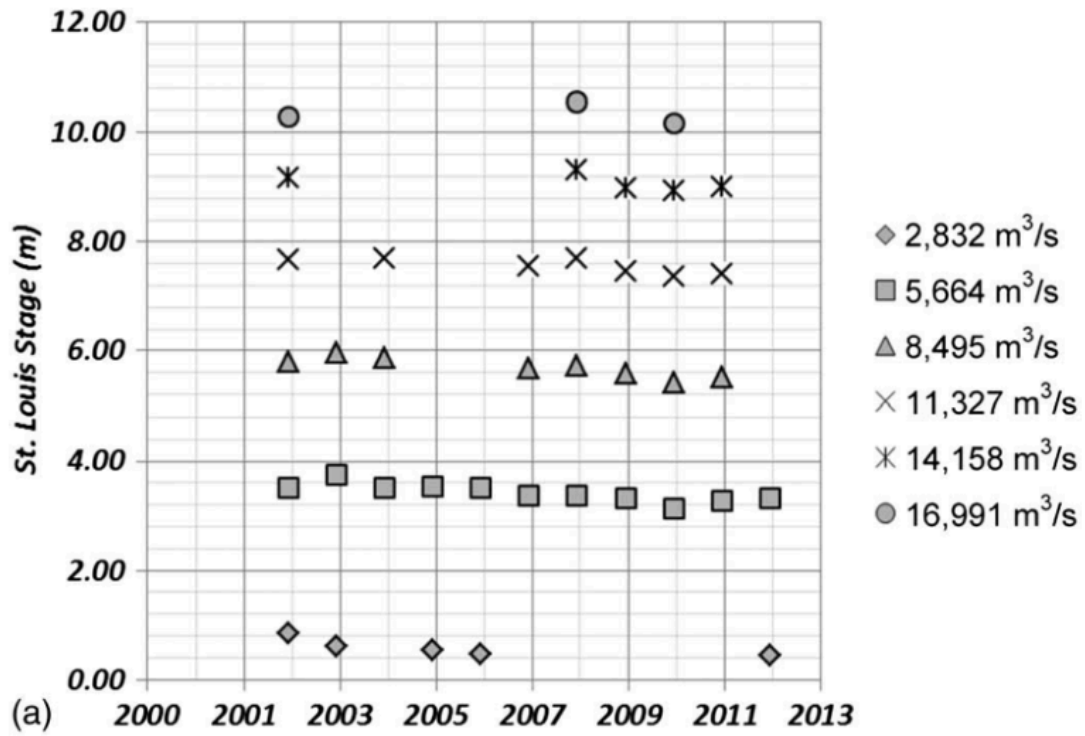
## 2. Stages



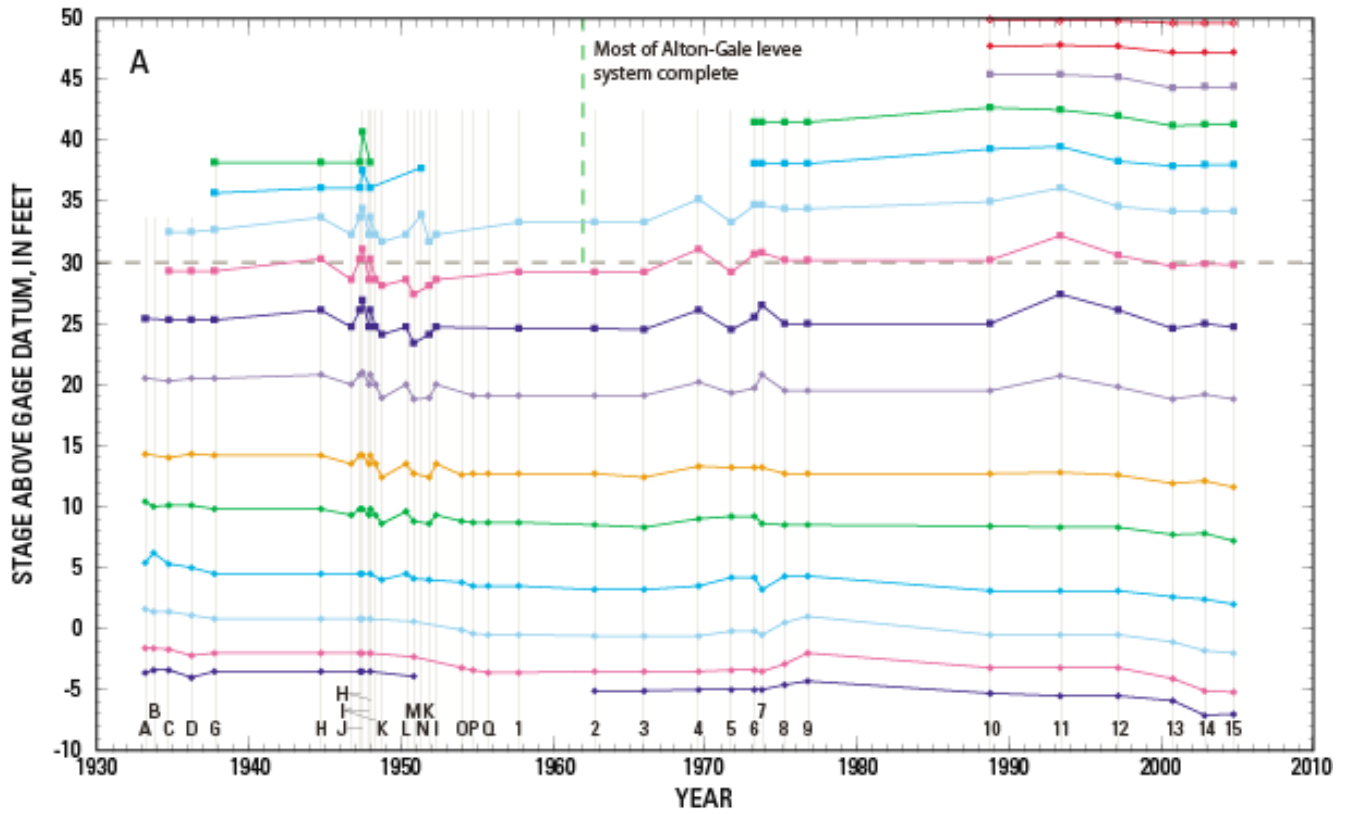
**Fig. 1.:** Trends in stage over time are shown at the St. Louis gage of the Mississippi River using the specific-gage technique. Each line indicates stages associated with a fixed discharge, so that changes in stage over time indicate changes in the conveyance capacity of this section of the river. [1]



**Fig. 2.:** Stage changes at the three gaging stations on the Middle Mississippi are summarized for the duration of record. All three stations illustrate the same basic features: declining stages over time for low discharges and rising stages for discharges from mid-bank position up to bankfull discharge and above bankfull. Vertical lines indicate the discharges at which falling stages switch to rising stages. Note that the section at Thebes, without mainstem levees, shows virtually no additional stage increases for flows above about 17,000 cms. [1]



**Fig. 3.:** Examples of specific gauge records produced by using: (a) the rating curve method; (b) the direct step approach. [11]



**EXPLANATION**

— — Flood stage at streamgage

A Start of select ratings, designated by letter or number

**RATED DISCHARGE, in cubic feet per second**

- ◆ 40,000
- ◆ 70,000
- ◆ 150,000
- ◆ 300,000
- ◆ 500,000
- ◆ 700,000
- ◆ 848,000
- ◆ 1,000,000
- ◆ 50,000
- ◆ 100,000
- ◆ 200,000
- ◆ 400,000
- ◆ 600,000
- ◆ 800,000
- ◆ 900,000
- ◆ 1,090,000

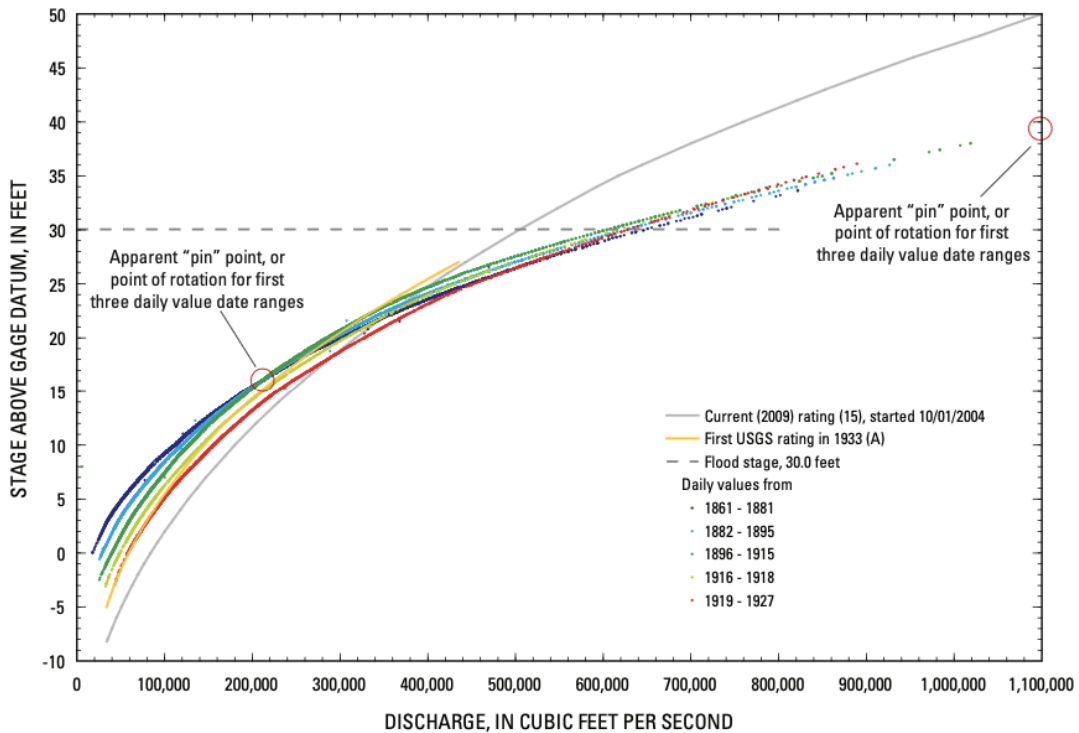
*Fig. 4.: Stage from Ratings, from USGS (2009)– [3;19]*

Station	Period	Discharge		Statistical trend <sup>a</sup>	R <sup>2</sup>	Cumulative dike length <sup>b</sup>	
		m <sup>3</sup> /s	cfs			m	km
St. Louis 1933–2011	Pre-1973	2,832	100,000	(-)S	0.43	4,454	4.45
		5,663	200,000	(-)S	0.24		
		8,495	300,000	(-)S	0.11		
		11,327	400,000	(-)S	0.21		
		14,158	500,000	(-)S	0.20		
		19,822	700,000	(-)NS	0.17		
	Post-1973	2,832	100,000	(-)S	0.51	2,134	2.13
		5,663	200,000	(-)S	0.26		
		8,495	300,000	(-)SI	0.11		
		11,327	400,000	(-)NS	0.13		
		14,158	500,000	(-)NS	0.051		
		19,822	700,000	(+)NS	0.0012		
	Entire period	2,832	100,000	(-)S	0.347	6,588	6.59
		5,663	200,000	(-)S	0.19		
		8,495	300,000	(-)S	0.067		
		11,327	400,000	(-)SI	0.057		
		14,158	500,000	(-)NS	0.005		
		19,822	700,000	(+)SI	0.124		

<sup>a</sup>Direction and statistical significance of trends indicated by regression analysis; (-) and (+) indicate negative or positive slopes of the regression line, respectively. S = statistically significant; NS = not statistically significant; SI = statistically inconclusive, based on critical *p*-values of 0.01 to reject the null hypothesis and 0.1 to accept it.

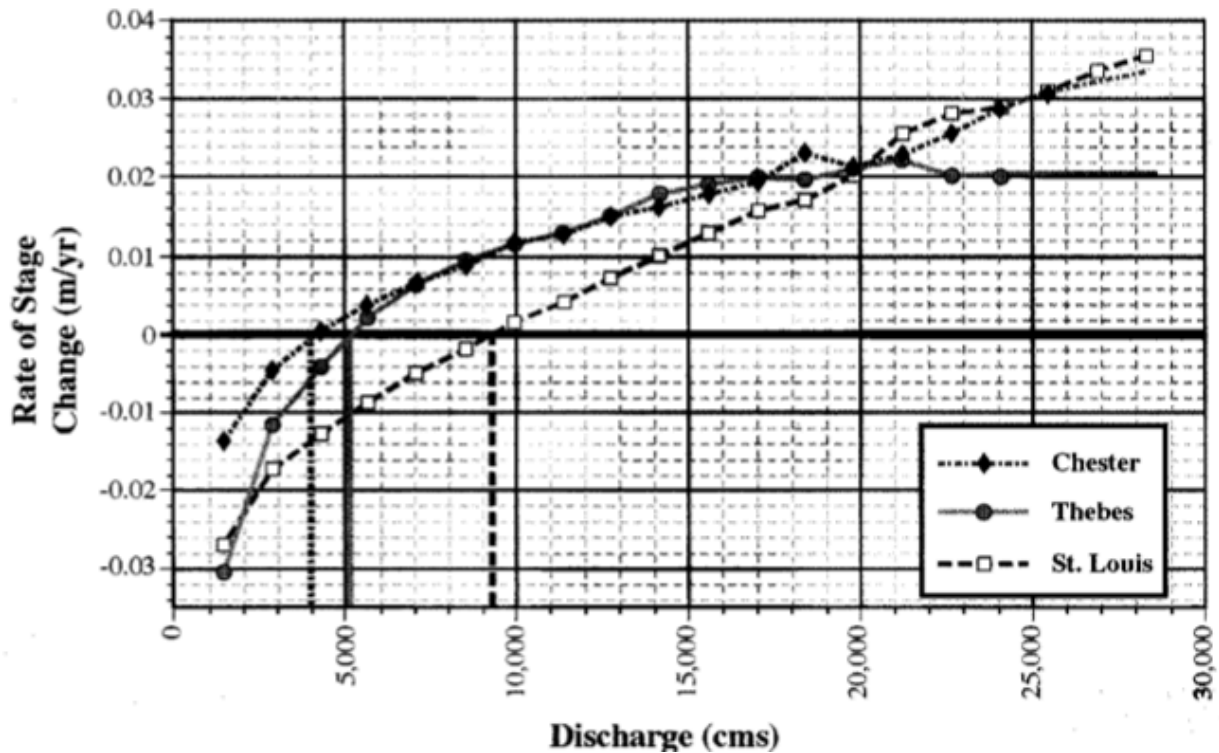
<sup>b</sup>Cumulative dike length constructed during the indicated time period in the ~20-mi (~32-km) reach immediately downstream of the gauge.

**Table 1.:** Summary Statistics and Significance of Regression Analyses of Stages at St. Louis [12]



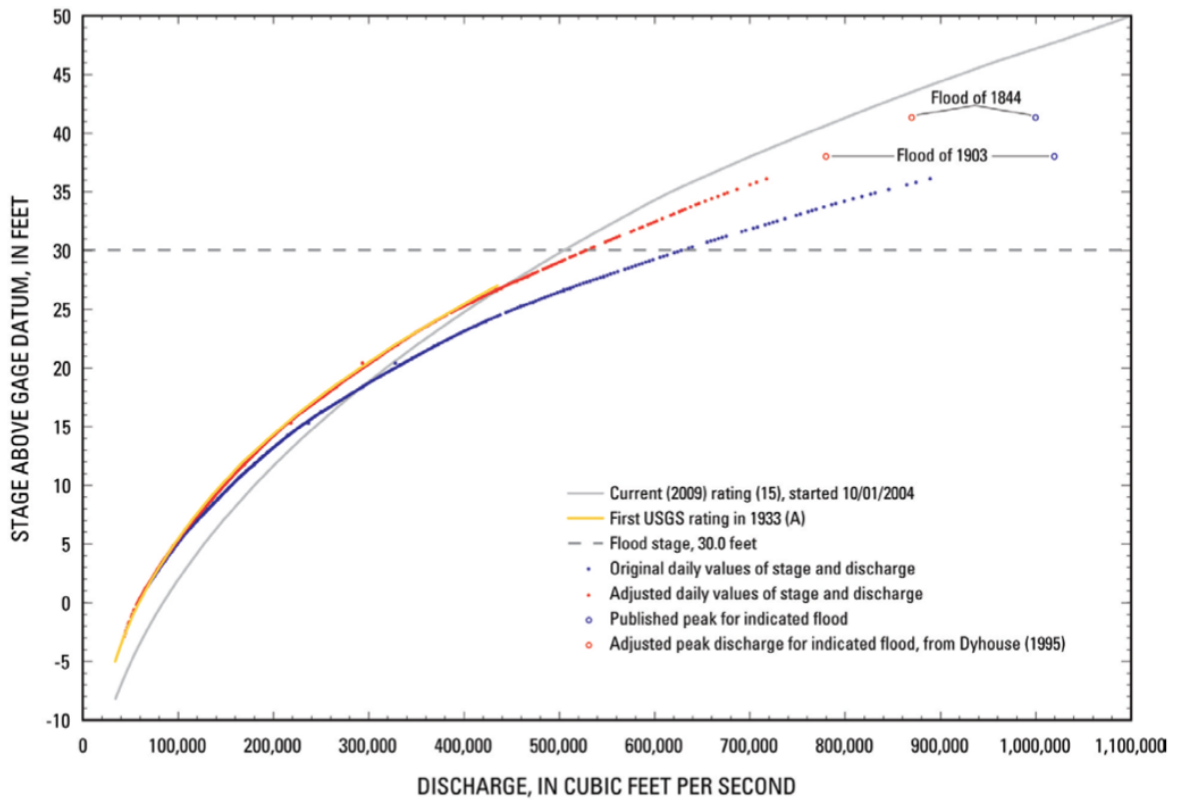
**Fig. 5.:** Stage and discharge from historic daily values from 1861 to 1927 at St. Louis, Missouri, on the Middle Mississippi River. [19]

### 3. Discharge

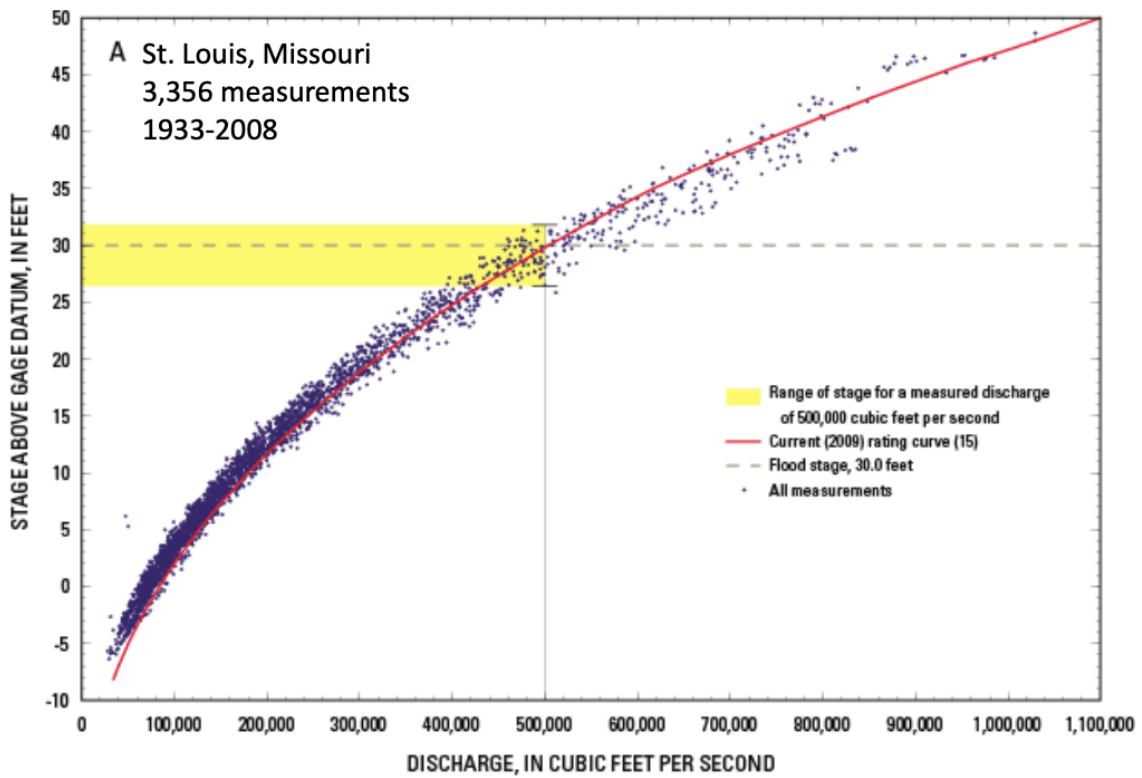


**Fig. 6.:** Flood frequency distribution for annual maximum stages, Mississippi River at St. Louis using: ranking of raw stage data (filled circles), and ranking of indexed stages that corrects for long-term secular trends (open circles). Best-fit lines are linear regressions for each data set, with low-end extreme values and the 1993 flood excluded.

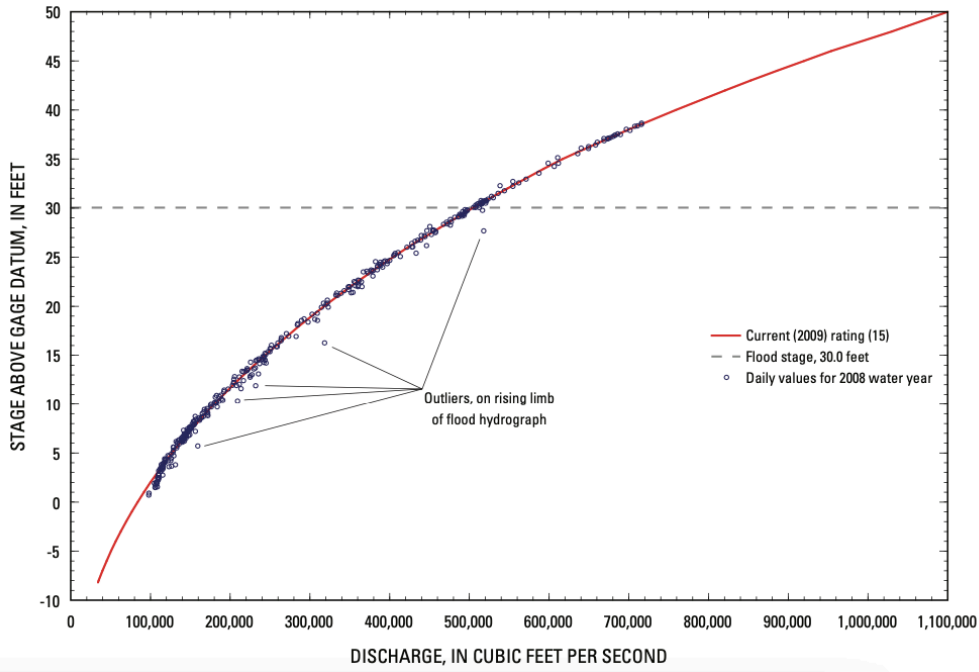
The 1993 flood was excluded because the maximum recurrence estimate possible using historical records is the number of years of record plus 1 (139 years). Note that for the unindexed data, the 1993 flood lies far above the best-fit line, suggesting a much longer recurrence than 139 years. Using the indexed stage data, the 1993 flood lies close to the best-fit line, even a bit below, suggesting a recurrence time of 100 years or less. [1]



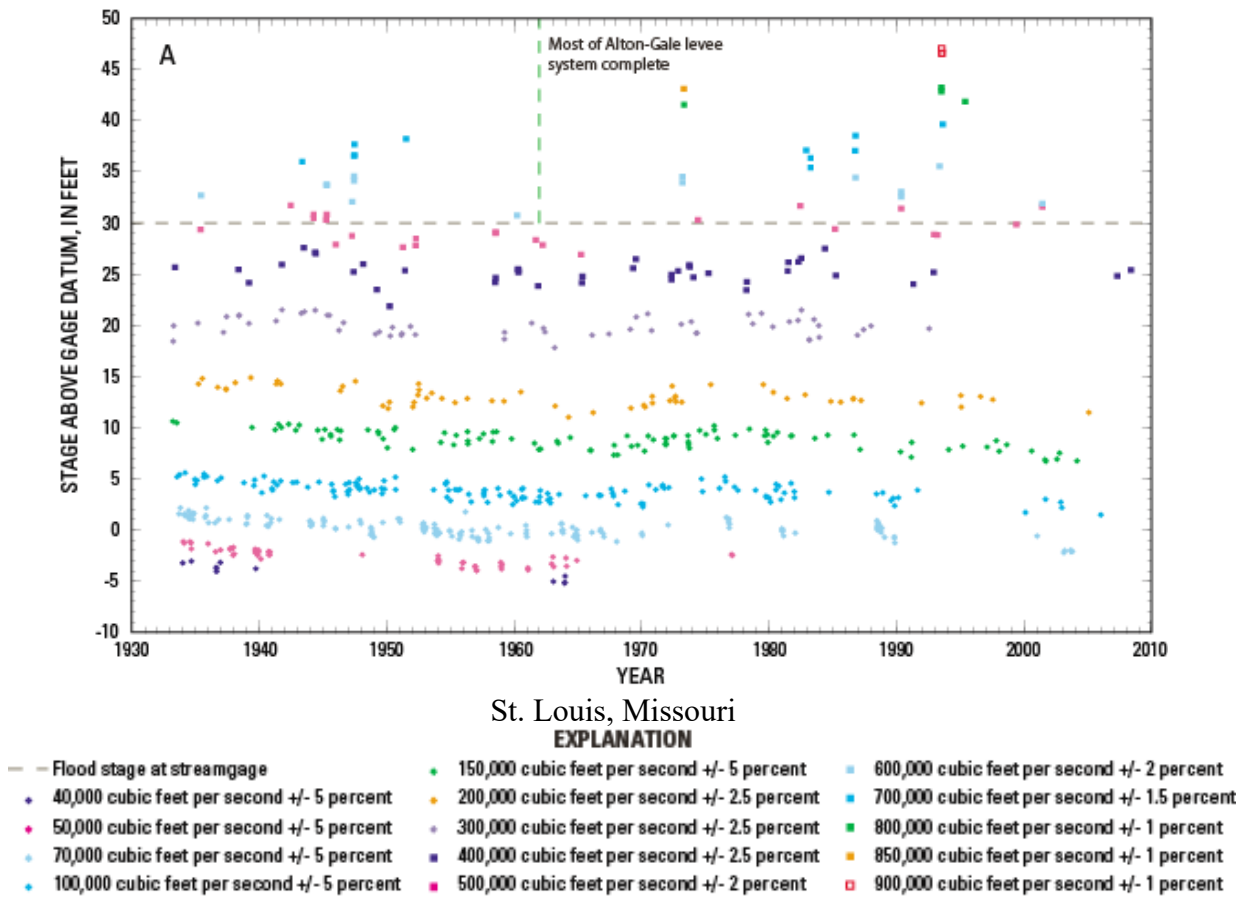
*Fig. 7.: Daily Data at St. Louis, Missouri, since 1861, USGS – [3]*



*Fig. 8.: Stage-Discharge Relation (Rating), from USGS (2009) – [3;19]*



**Fig. 9.:** Stage and discharge from daily values for the 2008 water year (October 1, 2007 to September 30, 2008) at the streamgage at St. Louis, Missouri, on the Middle Mississippi River. – 8N



**Fig. 10.:** Stage-Discharge Relation (Discharge Measurements), from USGS (2009) [3;19]

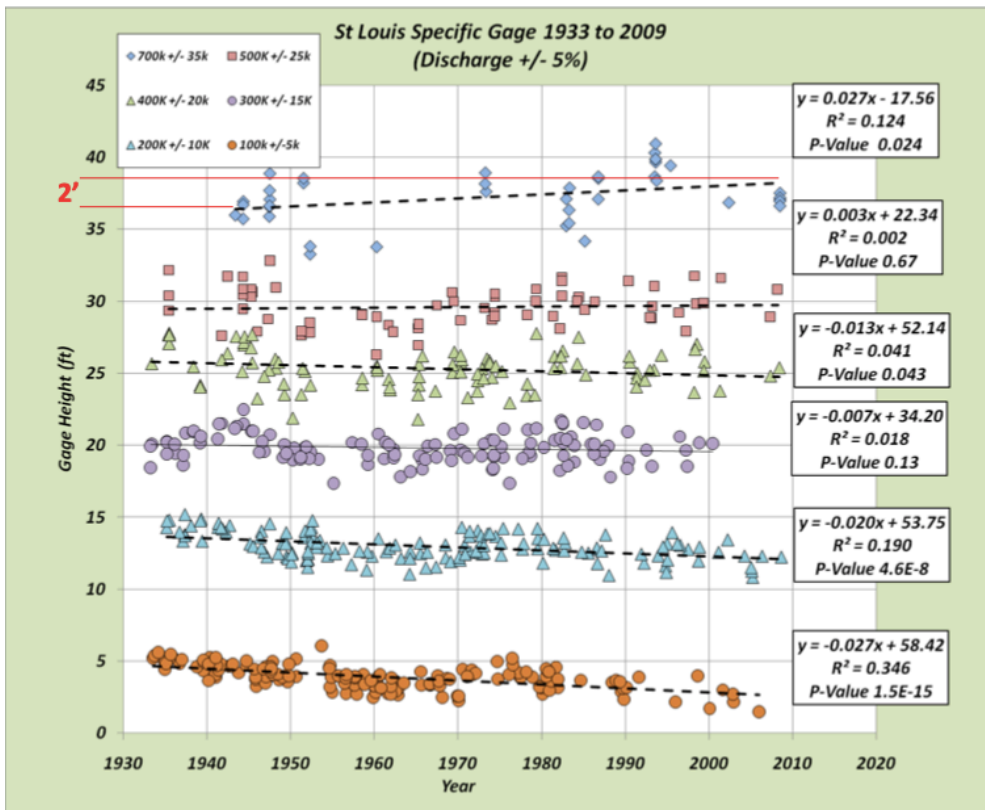


Fig. 11.: Stage-Discharge Relation (Discharge Measurements), from USGS (2009) [3]

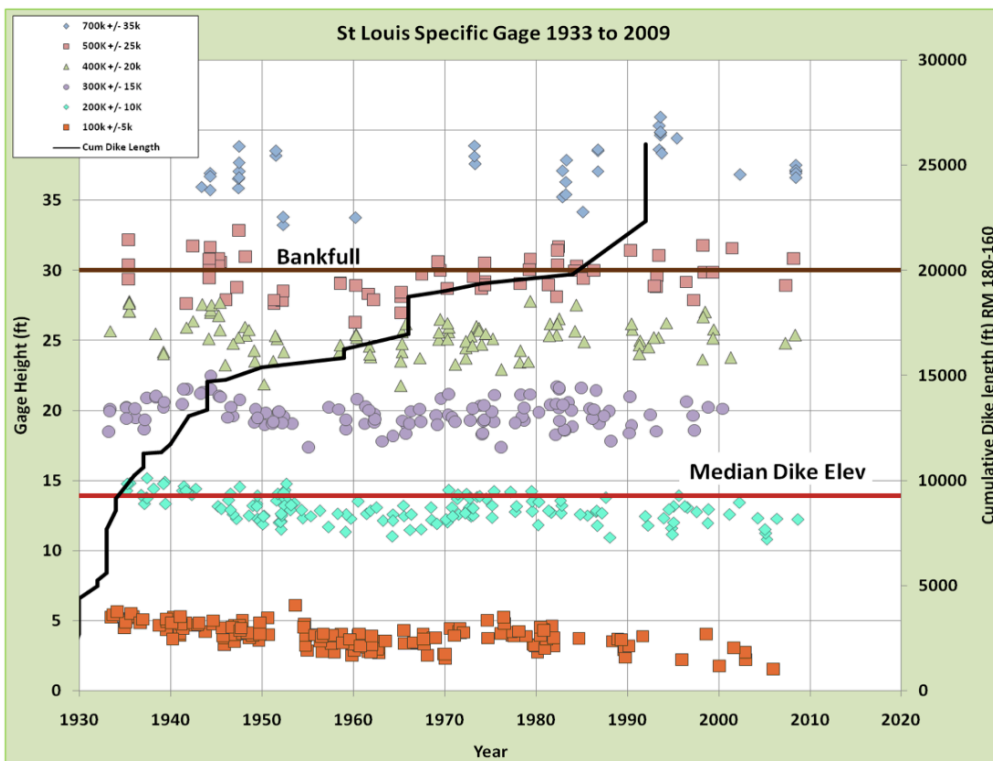
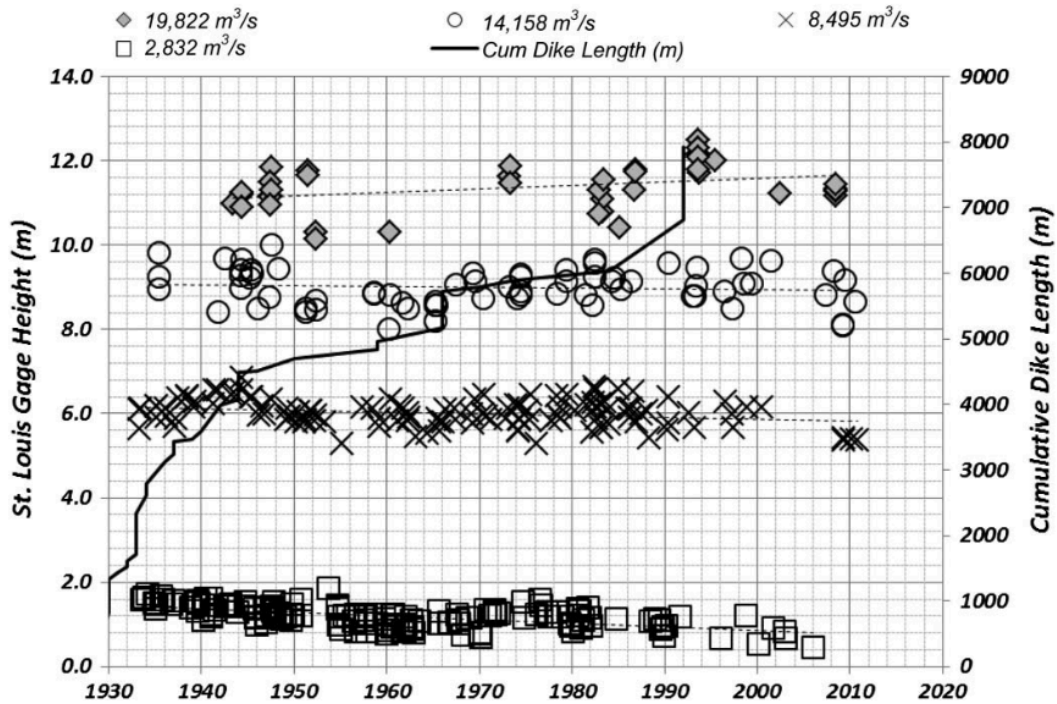


Fig. 12.: St. Louis Specific Gage 1933 to 2009. – [3]





**Fig. 13.:** Specific gauge record for the St. Louis gauge between 1933 and 2001, produced by using the direct step approach. [12]

Dike top elevations at or below gauge (%)	St. Louis gauge	
	m	ft
0	1.22	4.0
25	3.87	12.7
50	4.24	13.9
75	5.27	17.3
100	7.01	23.0
Top bank elevation	9.15	30.0

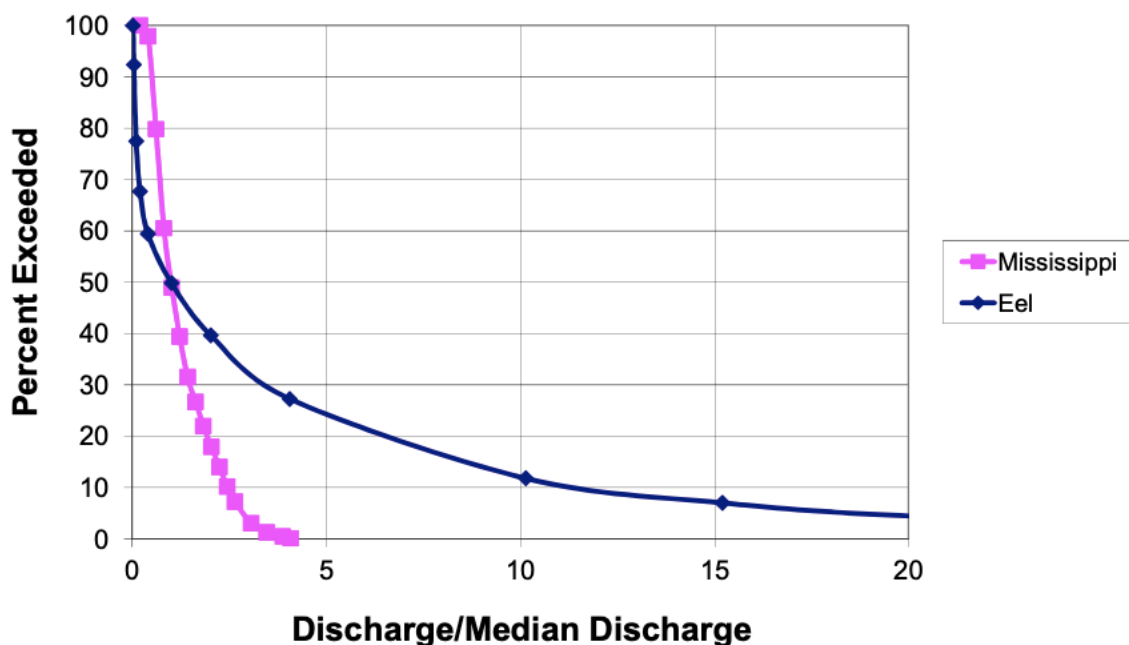
**Table 2.:** Elevation Frequency of Dikes in the MMR (Middle Mississippi River) [12]

The pre-1973 subperiod was characterized by extensive dike construction, but construction during the post-1973 subperiod was more than 50% lower. Stages were analyzed for discharges of 2,832, 5,663, 8,495, 11,327, 14,158, and 19,822  $m^3/s$  (Table 1). However, for clarity, only the data and regression lines for 2,832, 8,495, 14,158, and 19,822  $m^3/s$  are plotted in Fig. 13. [12]

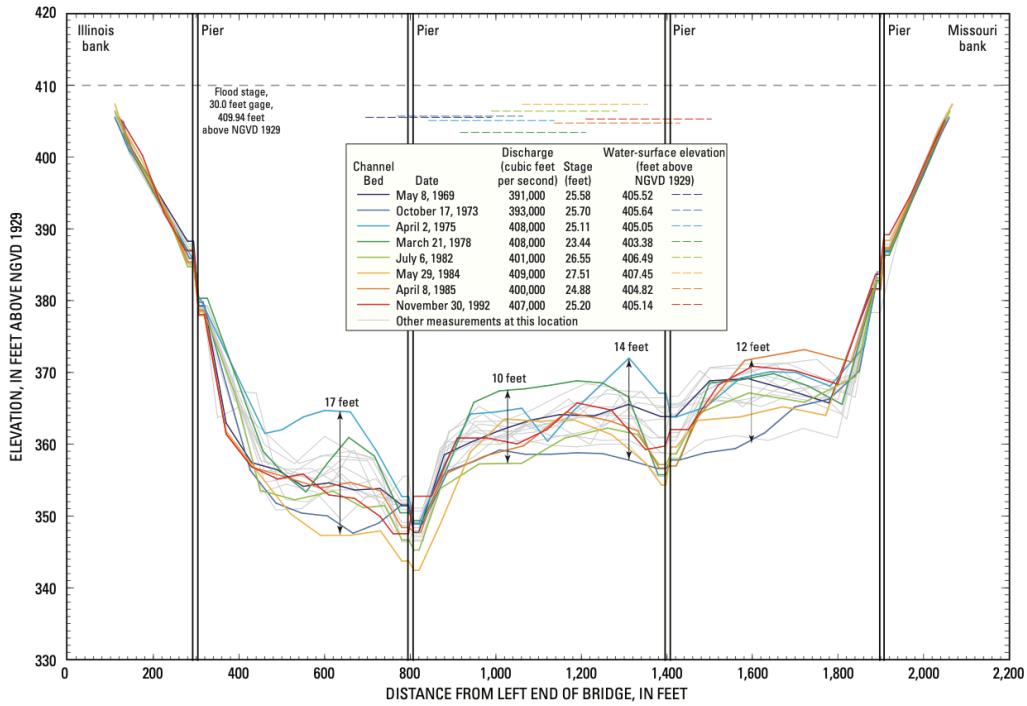
Bankfull elevation at St. Louis corresponds to a gauge height of approximately 9.15 m (30 ft), which corresponds to a discharge of approximately 14,158  $m^3/s$  (Fig. 13.). Flows less than about 14,158  $m^3/s$  are contained comfortably within bank; at 19,822  $m^3/s$ , the water surface is well above top bank elevation. Fig. 11. also includes a line indicating the cumulative length of dikes constructed in the ~32-km reach downstream of the gauge, between RM 180 and RM 160. The median elevation of dike crests in this reach is approximately 4.27 m (14 ft; Table 2.); which corresponds to a discharge of approximately 5,663  $m^3/s$ . All flows less than this are constrained to the navigation channel by the dikes. [12]

Return period (years)	Discharge (cfs)	UMRSFFS discharge (cfs)*	Difference (cfs)	Difference (%)
2	499 000	450 000	49 000	+11
5	669 000	590 000	79 000	+13
10	776 000	670 000	106 000	+16
25	909 000	780 000	129 000	+17
50	1 004 000	850 000	154 000	+18
100	1 097 000	910 000	187 000	+21
200	1 189 000	1 000 000	189 000	+19
500	1 308 000	1 120 000	188 000	+17

**Table 3.:** Flood-frequency analysis using 110 years of measured annual-peak discharges for the St Louis gauging station produced discharges that were higher than the corresponding UMRSFFS regulated-flow equivalents for all recurrence intervals. These differences ranged from 11% for the 2-year flood to 21% for the 100-year flood. Stages also were higher using the flood frequencies here for all recurrence intervals. The average difference in stage (averaged across the study area) ranged from 0.23 m for the 2-year flow to 1.75 m for the 500-year flow. [8]



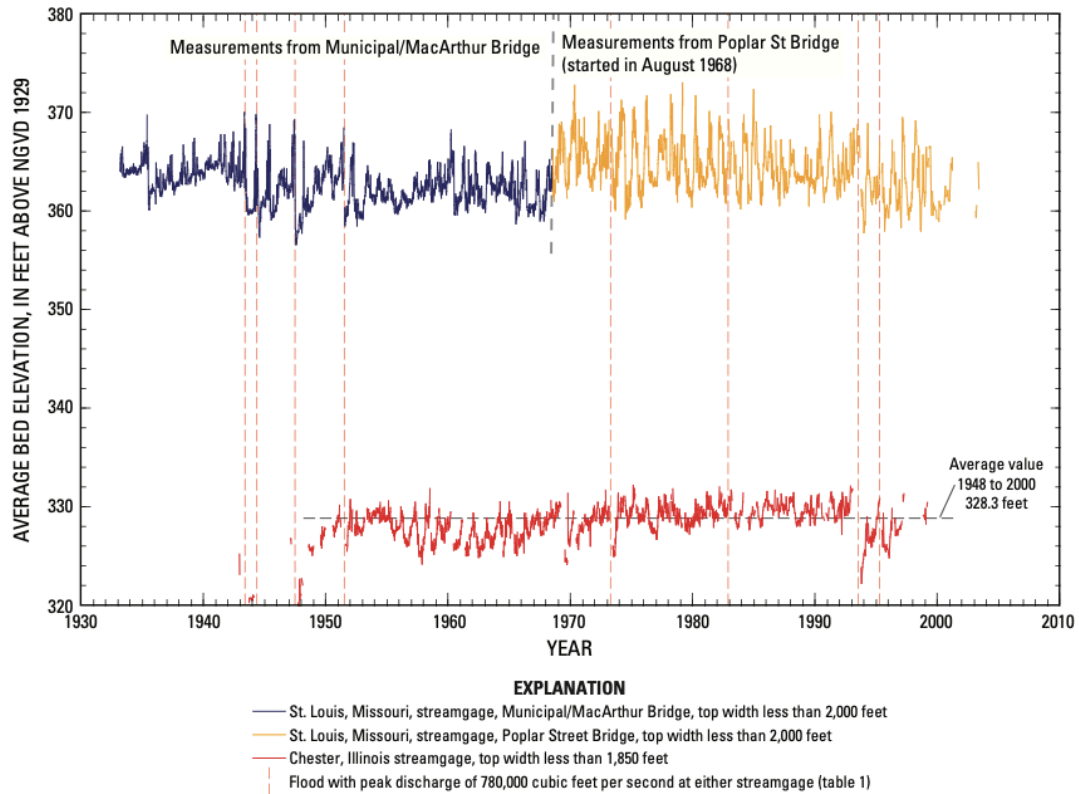
**Fig. 14.:** Normalized flow duration curves, Mississippi (at St. Louis) and Eel Rivers [16]



**Fig. 15.:** Cross sections from measurements made at the Poplar Street Bridge over the Mississippi River at St. Louis, Missouri, on the Middle Mississippi River, for discharges in the 400,000 cubic feet per second +/- 2.5 percent range. [19]

Discharge (ft <sup>3</sup> /s)	Range (percent)	Discharge range		Number of measurements	
		Lower value (ft <sup>3</sup> /s)	Upper value (ft <sup>3</sup> /s)	St. Louis streamgage 07010000	Chester streamgage 07020500
40,000	5.0	38,001	41,999	11	2
50,000	5.0	47,501	52,499	55	16
60,000	5.0	57,001	62,999	68	32
70,000	5.0	66,501	73,499	153	91
80,000	5.0	76,001	83,999	128	99
90,000	5.0	85,501	94,499	166	118
100,000	5.0	95,001	104,999	138	117
150,000	5.0	145,001	154,999	100	70
200,000	2.5	195,001	204,999	59	56
300,000	2.5	292,501	307,499	57	42
400,000	2.5	390,001	409,999	41	25
500,000	2.0	490,001	509,999	25	17
600,000	2.0	588,001	611,999	14	14
700,000	1.5	689,501	710,499	11	13
800,000	1.0	792,001	807,999	4	4
850,000	1.0	841,501	858,499	1	2
900,000	1.0	891,001	908,999	3	1

**Table 4.:** Discharge ranges used in the examination of discharge measurements at streamgages on the Middle Mississippi River. [ft<sup>3</sup>/s, cubic feet per second] [19]

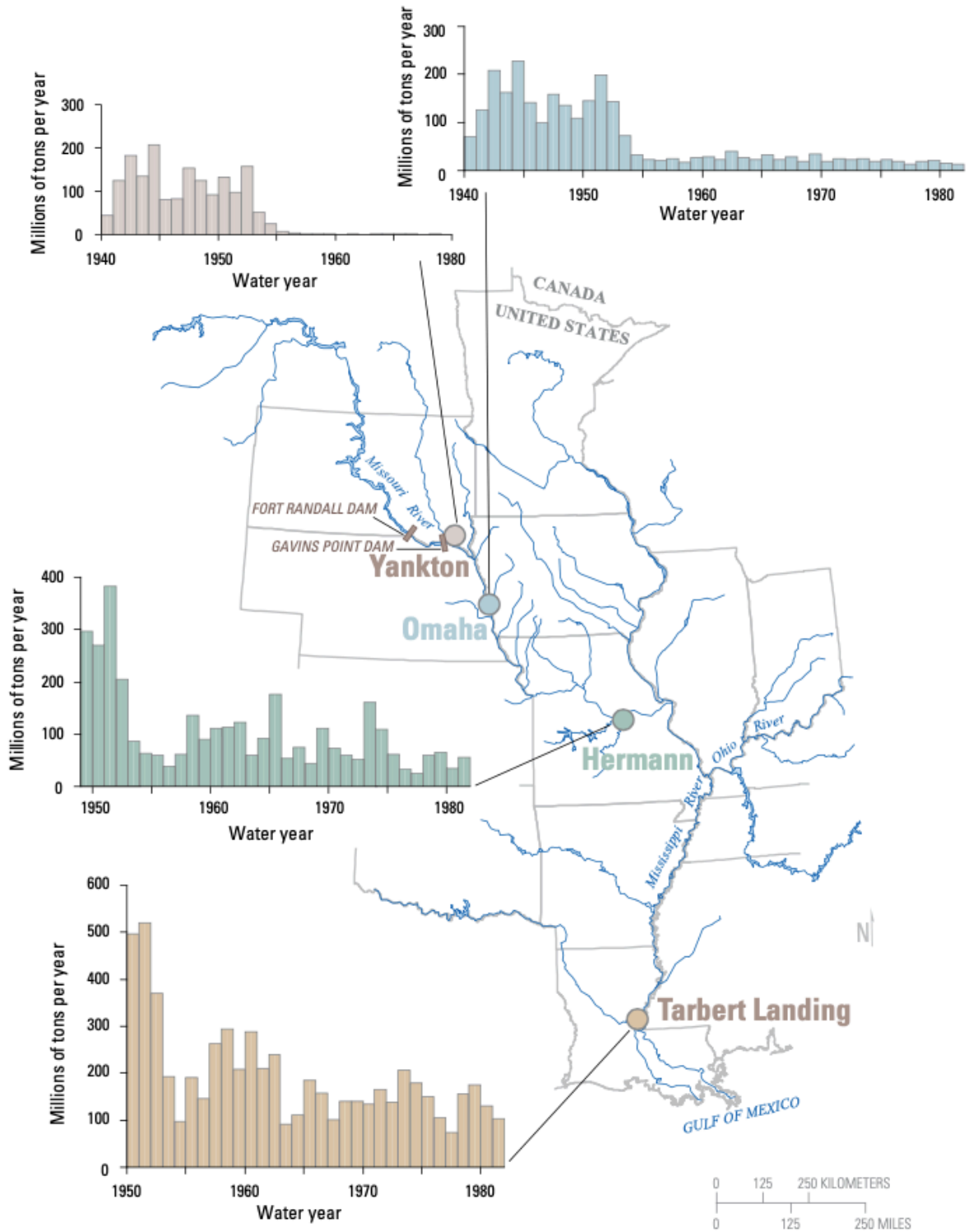


**Fig. 16.:** Average bed elevation with time for all measurements less than bankfull made at the streamgages at St. Louis, Missouri, and Chester, Illinois, on the Middle Mississippi River. [19]

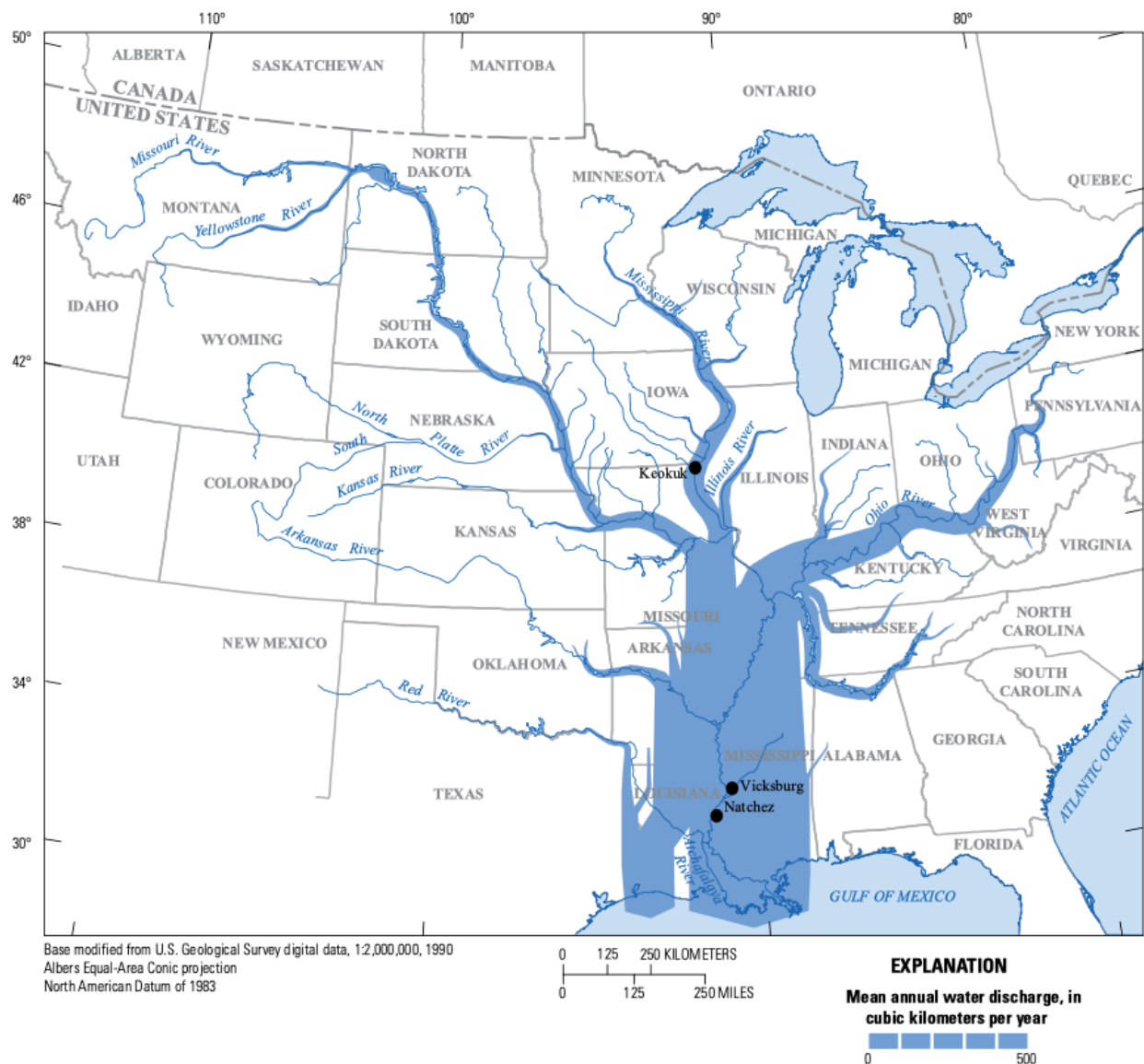
Period (years)	Mean flow (m <sup>3</sup> /s)
1861–2011 <sup>a</sup>	5,265
1941–2011 <sup>b</sup>	5,665
1981–2011 <sup>c</sup>	6,175
2007–2011 <sup>d</sup>	8,210

<sup>a</sup>Complete period of record for Mississippi River discharge at St. Louis.  
<sup>b</sup>Period of record matching the discharge data available at Chester, Illinois.  
<sup>c</sup>Period of record matching the suspended-sediment concentration measurements at St. Louis.  
<sup>d</sup>Period of record beginning in the year when the harbor started operating (2007).

**Table 5.:** Historic mean flows for Mississippi River at St. Louis; periods indicated correspond to hydrologic years – [4]



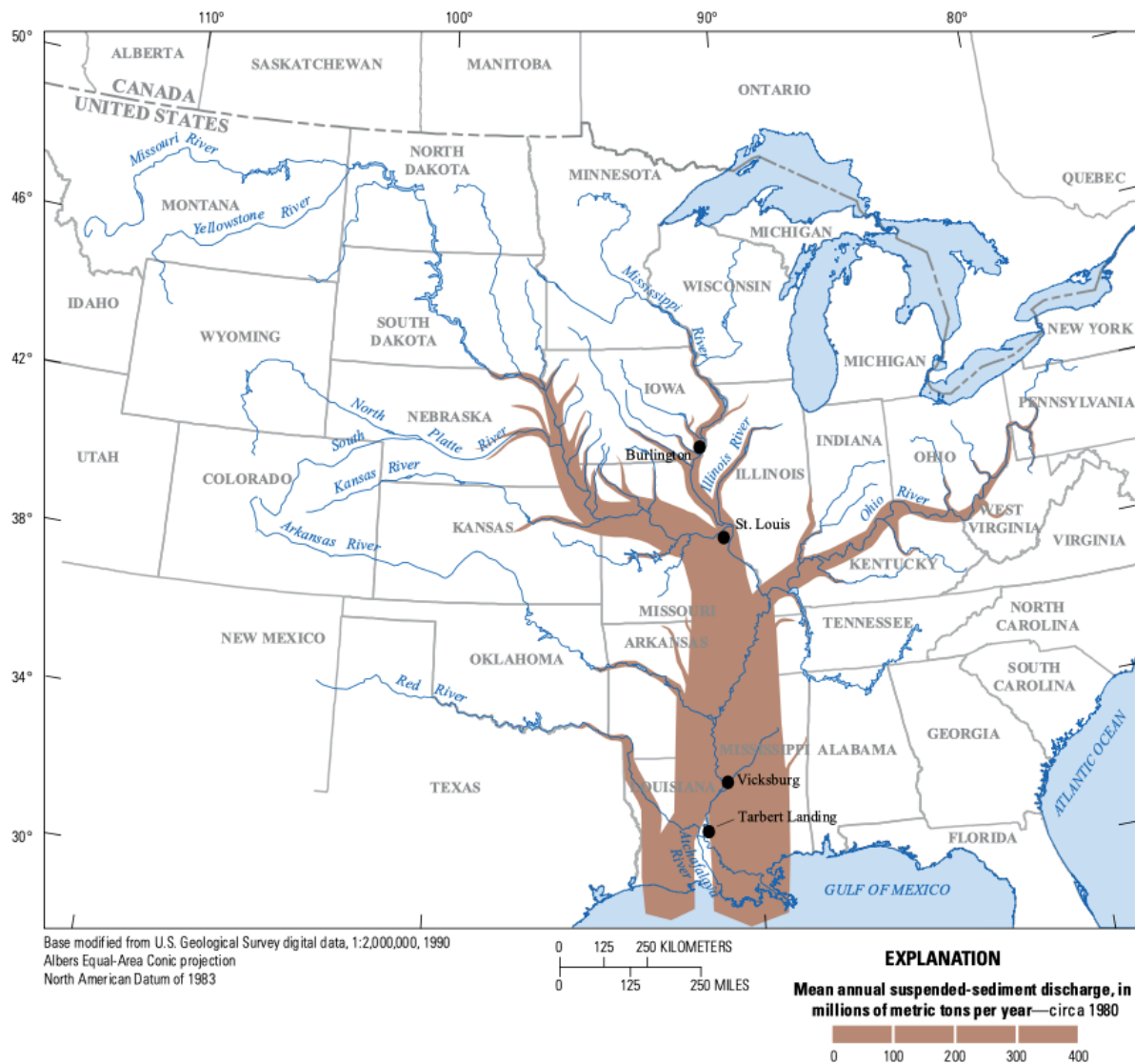
**Fig. 17.:** Total suspended-sediment discharge at stations along the lower Missouri and lower Mississippi Rivers (modified from Meade and Moody 2010) [15]



**Fig. 18.:** Mean annual water discharges of the main-channel and primary tributaries to the Mississippi River (modified from Meade and Moody, 2010). [15]

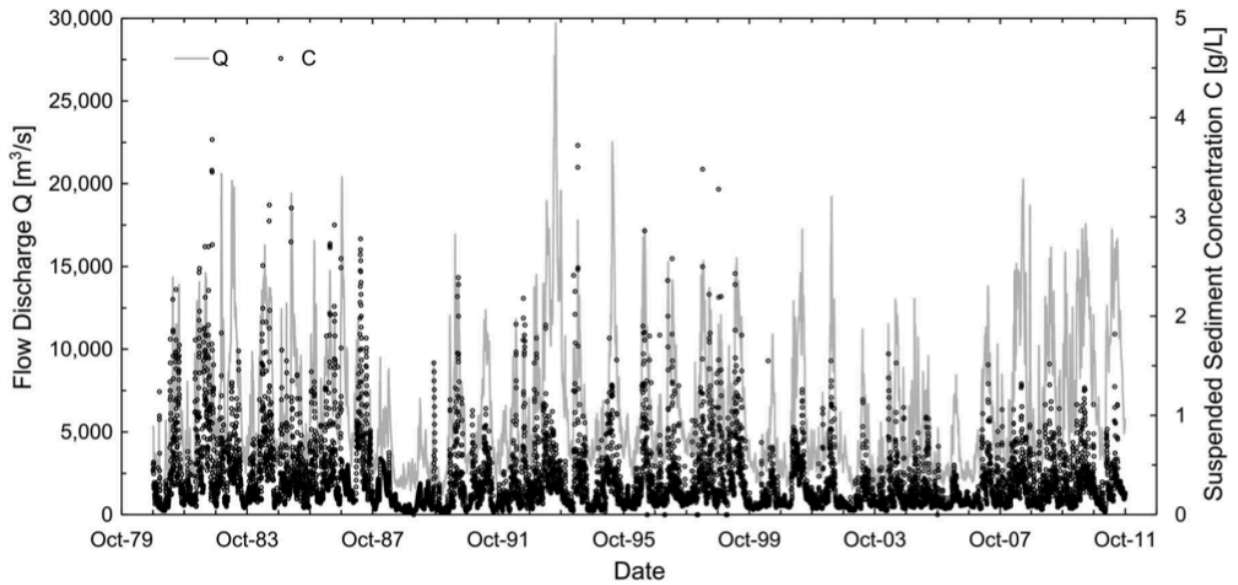
The Mississippi River, in combination with its largest distributary the Atchafalaya River, discharges an annual average of 580 km<sup>3</sup> of water into the Gulf of Mexico (Meade and others, 1995; Brown and others, 2005). About half of the total annual discharge is contributed by the Ohio River alone, which drains the more humid regions of the basin but only constitutes one-sixth of the total MRB area (Meade, 1995). Alternatively, the Missouri River drains approximately 43 percent of the MRB but contributes only about 12 percent of the total annual water discharge. [15]

## 4. Sediment

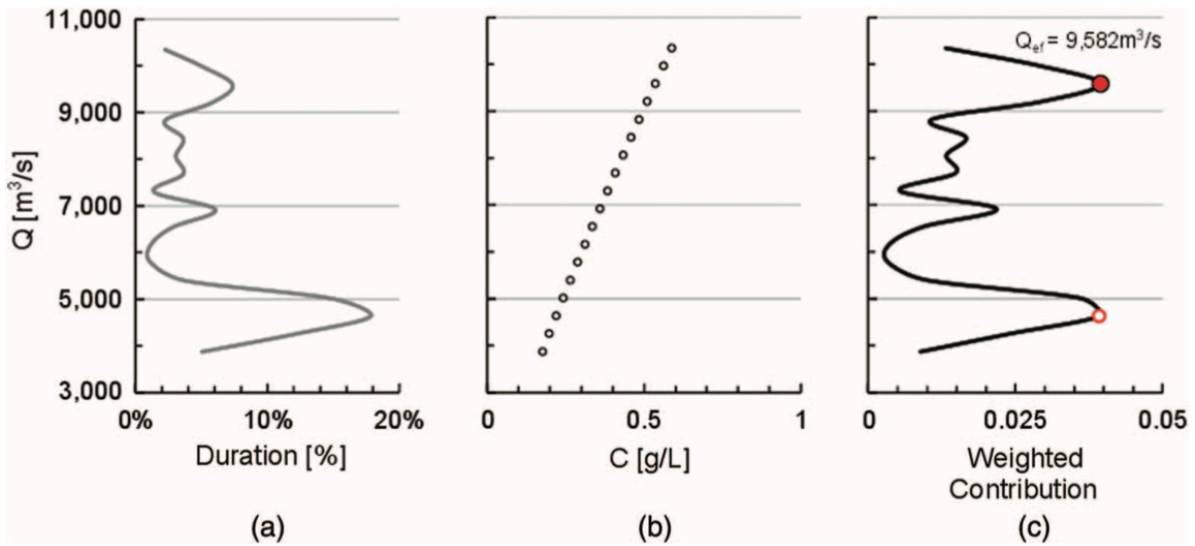


**Fig. 19.:** Postdevelopment mean annual suspended-sediment discharge along the Mississippi River and major tributaries, circa 1980 (modified from *FMiguardee3* and Moody, 2010). [15]

*In the MRB, the primary sources of sediment and water are decoupled. The primary source of sediment in the basin is the Missouri River, which drains large parts of the Great Plains region of North America. The Great Plains region, which includes the Missouri, Arkansas, and Red River Basins, produces proportionally larger sediment discharges because of a combination of a semiarid climate, resulting in a lower density of vegetated land cover, yet enough precipitation to mobilize substantial masses of sediments into streams (Langbein and Schumm, 1958). [15]*

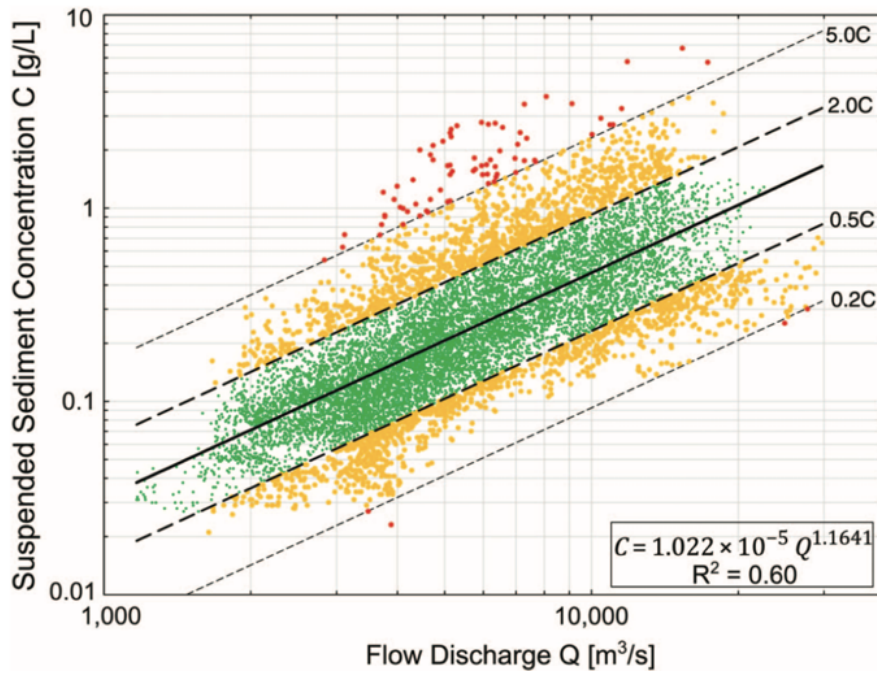


**Fig. 20.:** Flow discharge and suspended-sediment concentrations in the Mississippi River at St. Louis for the period: Oct. 01, 1980. to Sept. 30, 2011. [4]

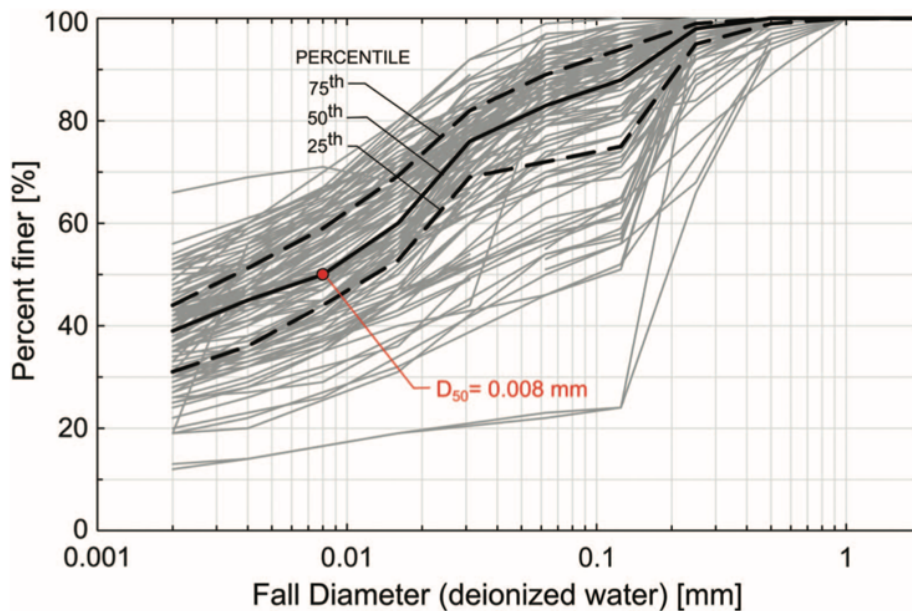


**Fig. 21.:** Effective discharge analysis plots and results at St. Louis: (a) flow frequency curve; (b) sediment rating curve; and (c) weighted contributions and effective discharge. These represent the discharges responsible for carrying large sediment volumes. As is often the case, the result obtained has two distinctive peaks, indicating that a frequent discharge carrying a relatively small sediment load for a long time is almost as effective as an infrequent discharge carrying a large amount of sediment over a shorter period of time. [4]

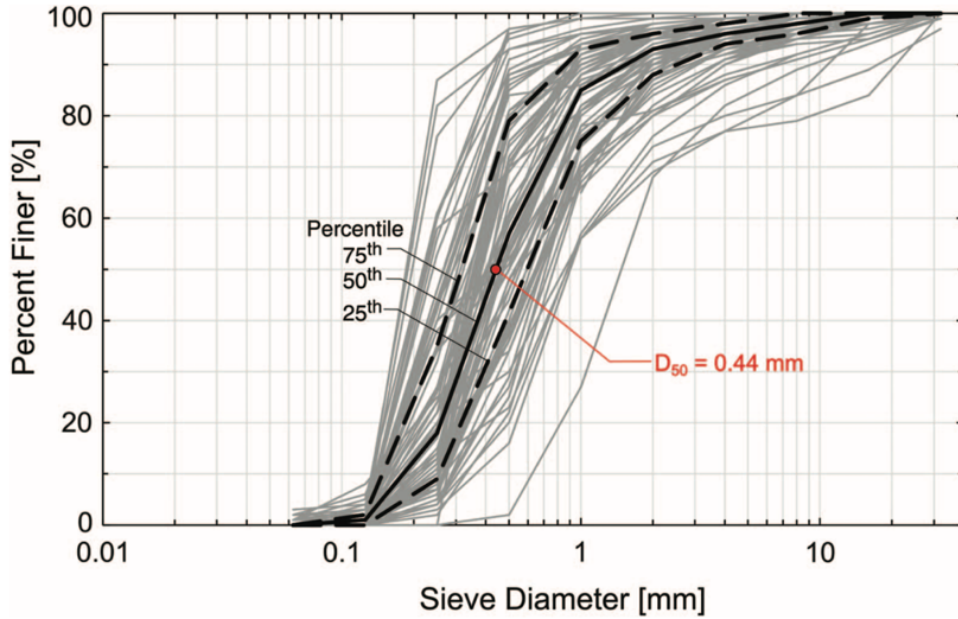




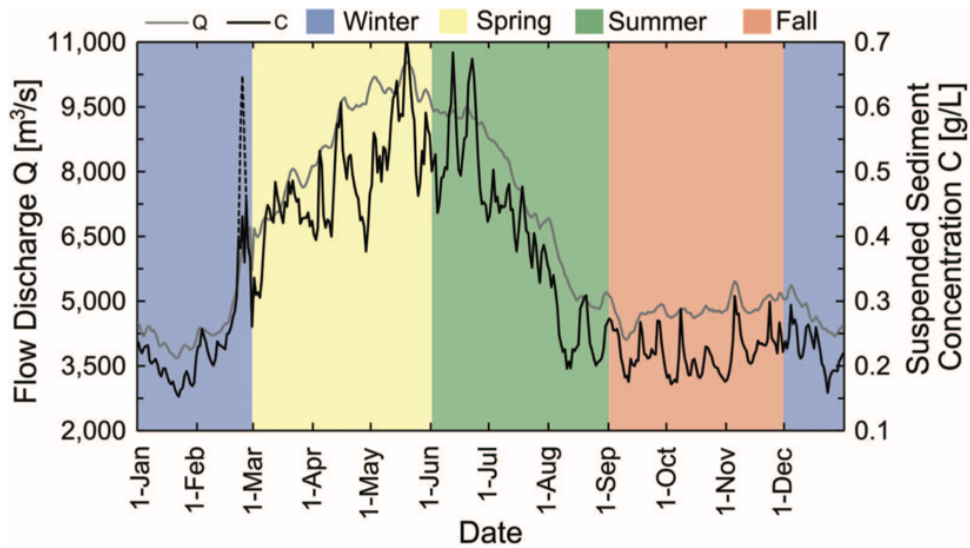
**Fig. 22.:** Suspended-sediment concentration rating curve for the Mississippi River at St. Louis. Dashed lines indicate envelopes for values equal to 0.2, 0.5, 2.0, and 5.0 times the concentration values estimated with the power relation fit to the data. [4]



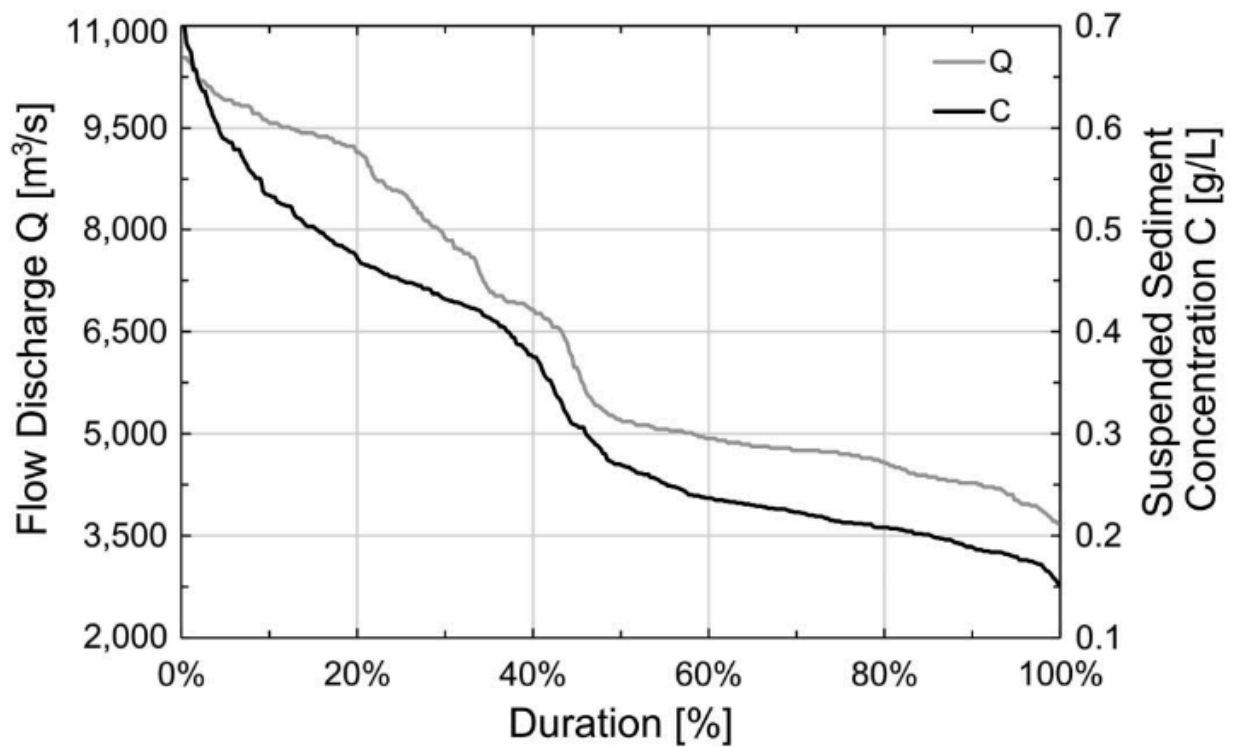
**Fig. 23.:** Grain-size distributions for the material in suspension in the Mississippi River at St. Louis. Solid gray lines correspond to the 108 available measurements; solid black line corresponds to the median grain-size distribution, and the dashed lines represent the 75th and 25th percentiles. The bulk  $D_{50}$  for the material is 0.008 mm. [4]



**Fig. 24.:** Grain-size distributions for the bed material in the Mississippi River at St. Louis. Solid gray lines correspond to the 114 available measurements. The solid black line corresponds to the median grain-size distribution. Dashed lines represent the 75th and 25th per- centiles. The bulk  $D_{50}$  for the material is 0.44 mm. [4]



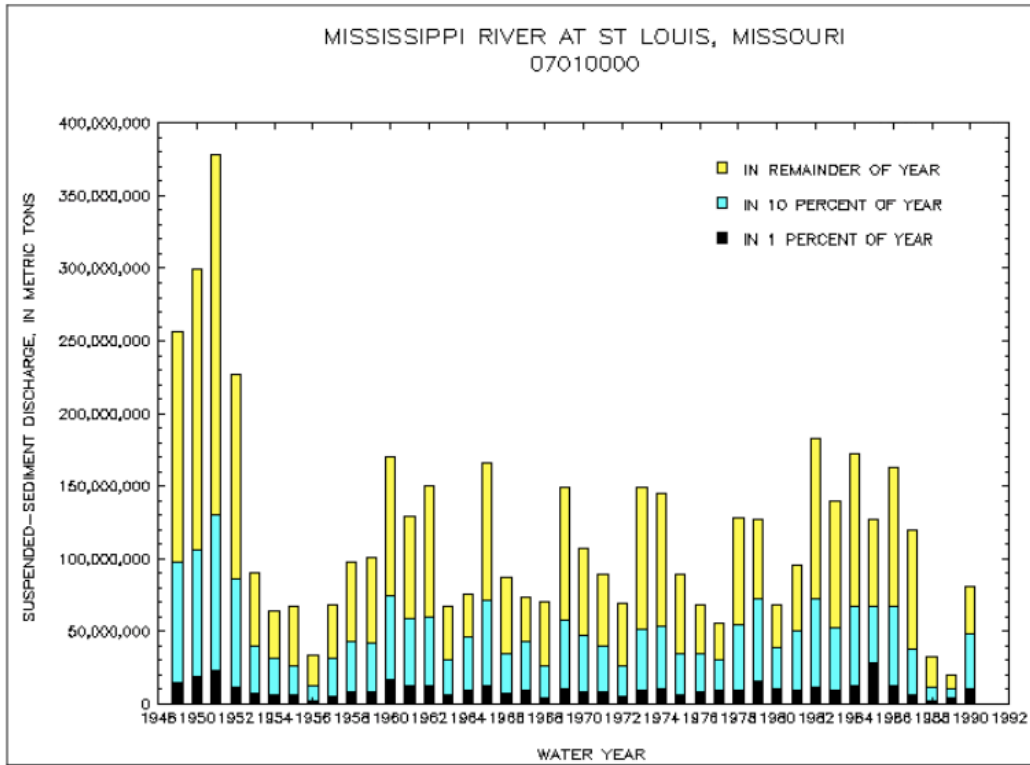
**Fig. 25.:** Mean annual hydrograph and suspended-sediment concentrations for Mississippi River at St. Louis. Dashed black line indicates the mean annual concentration values when including the values observed in the period February 22–26, 1985. [4]



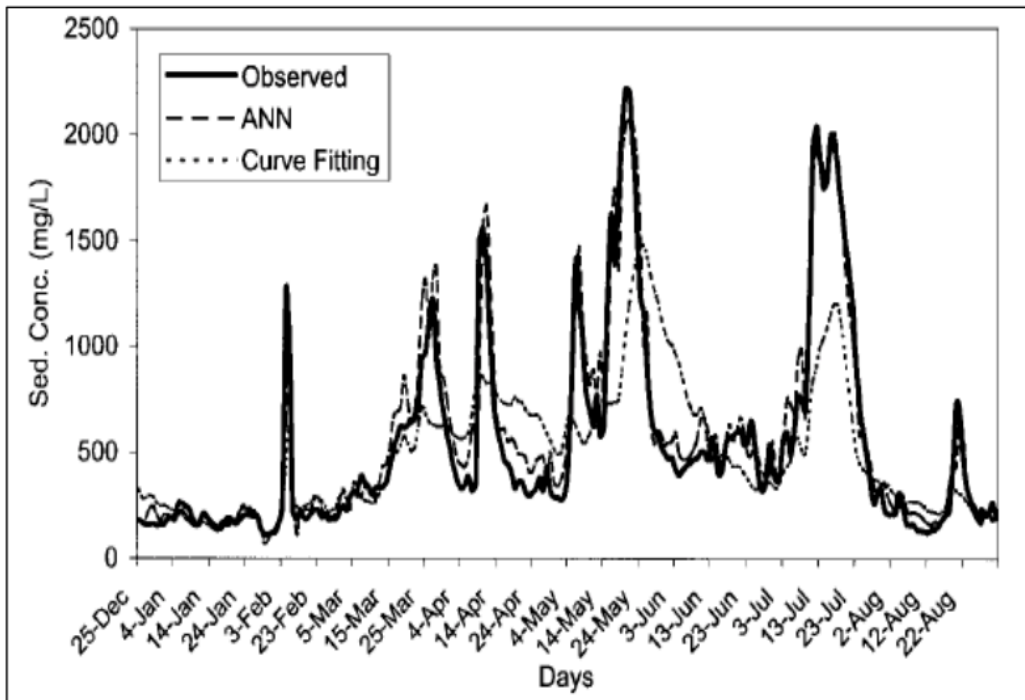
**Fig. 26.:** Mean annual flow ( $Q$ ) duration curve and mean annual suspended-sediment concentration ( $C$ ) duration curve for the Mississippi River at St. Louis. [4]

Discharge type	Discharge value $Q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Exceedance [days (%)]	Associated suspended-sediment concentration $C$ (g/L)
Mean	6,170	162–44	0.264
Dominant	7,608	120–33	0.337
Effective	9,582	36–10	0.441

**Table 6.:** Upper Mississippi River at St. Louis characteristic discharges, exceedance, and associated suspended-sediment concentrations for hydrologic years 1981–2011 [4]



*Fig. 27.: Sample suspended sediment data for the Mississippi River at St.Louis, MO gaging station. [17]*



*Fig. 28.: Observed and computed sediment concentration using the ANN approach. [17]*

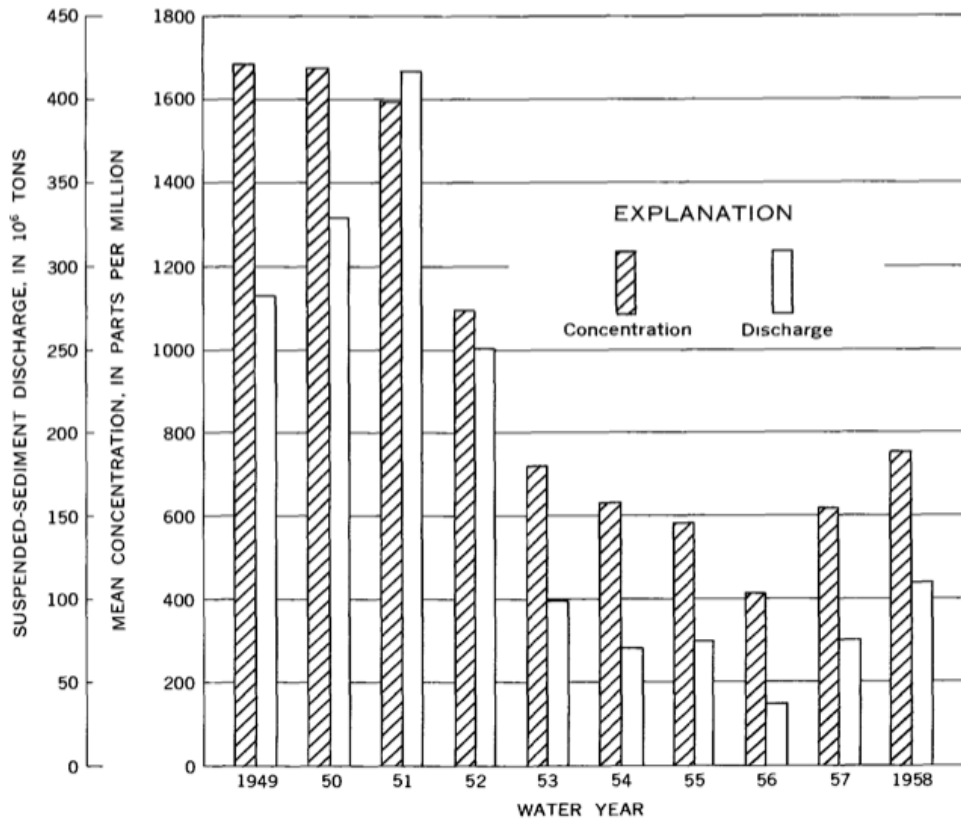


Fig. 29.: Suspended-sediment concentration and discharge, 1949-58. [18]

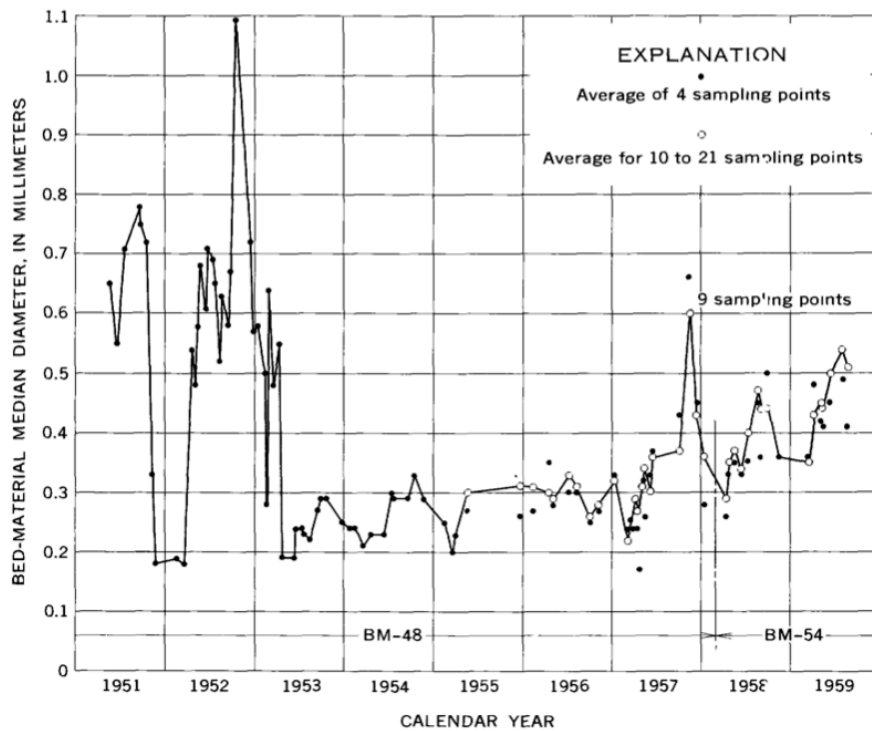


Fig. 30.: Variation of bed-material size with time. [18]

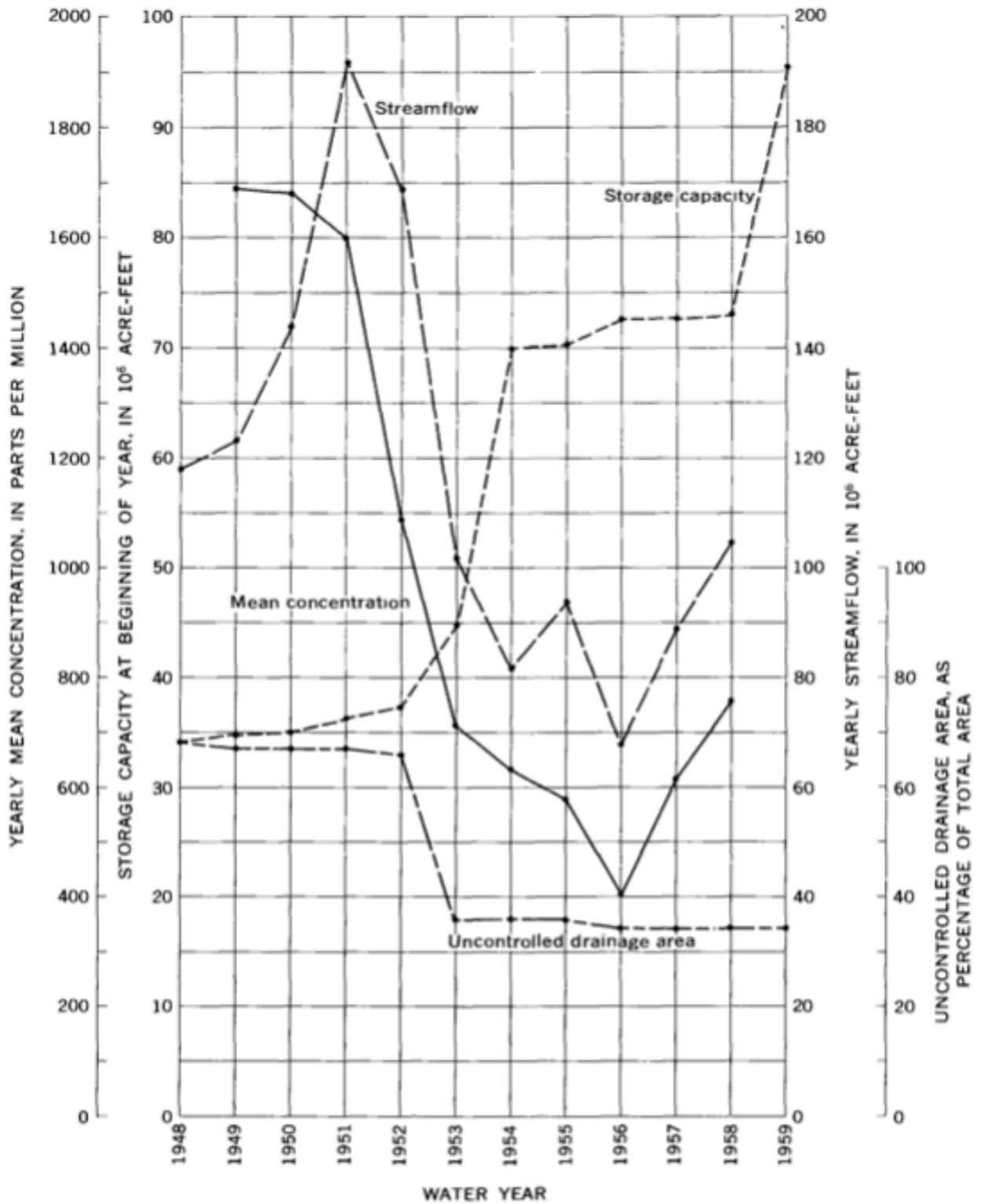
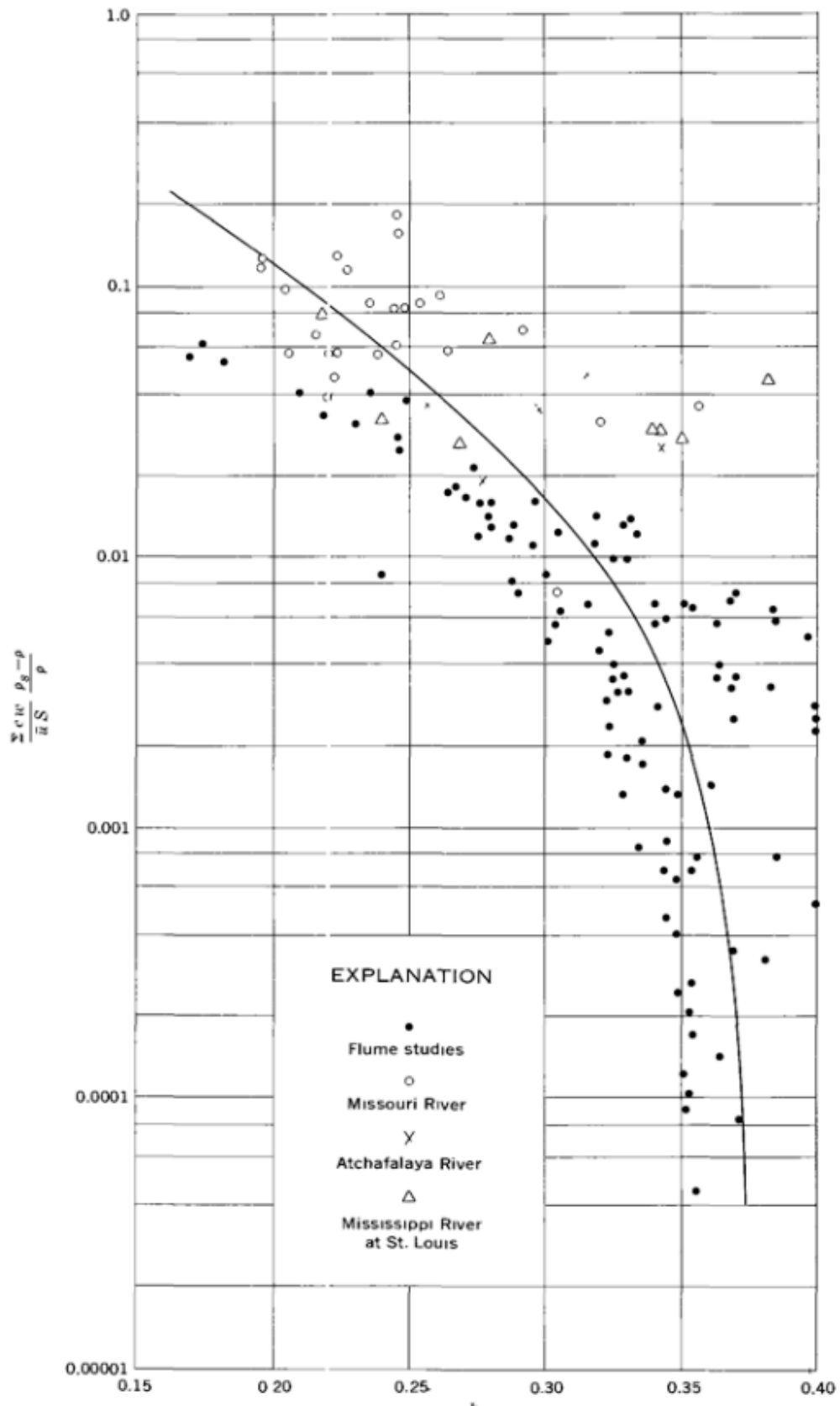
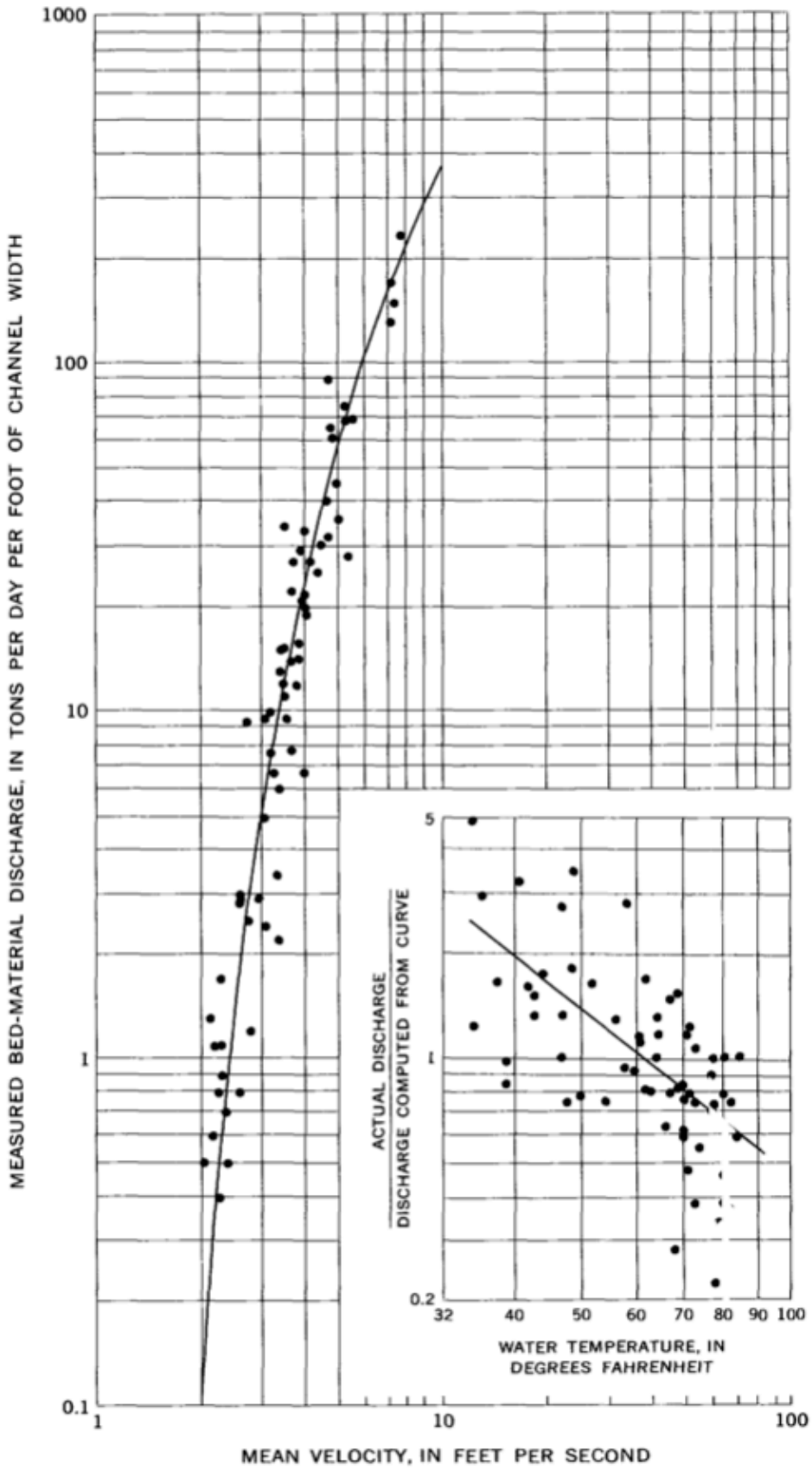


Fig. 31.: Factors affecting mean concentration. [18]

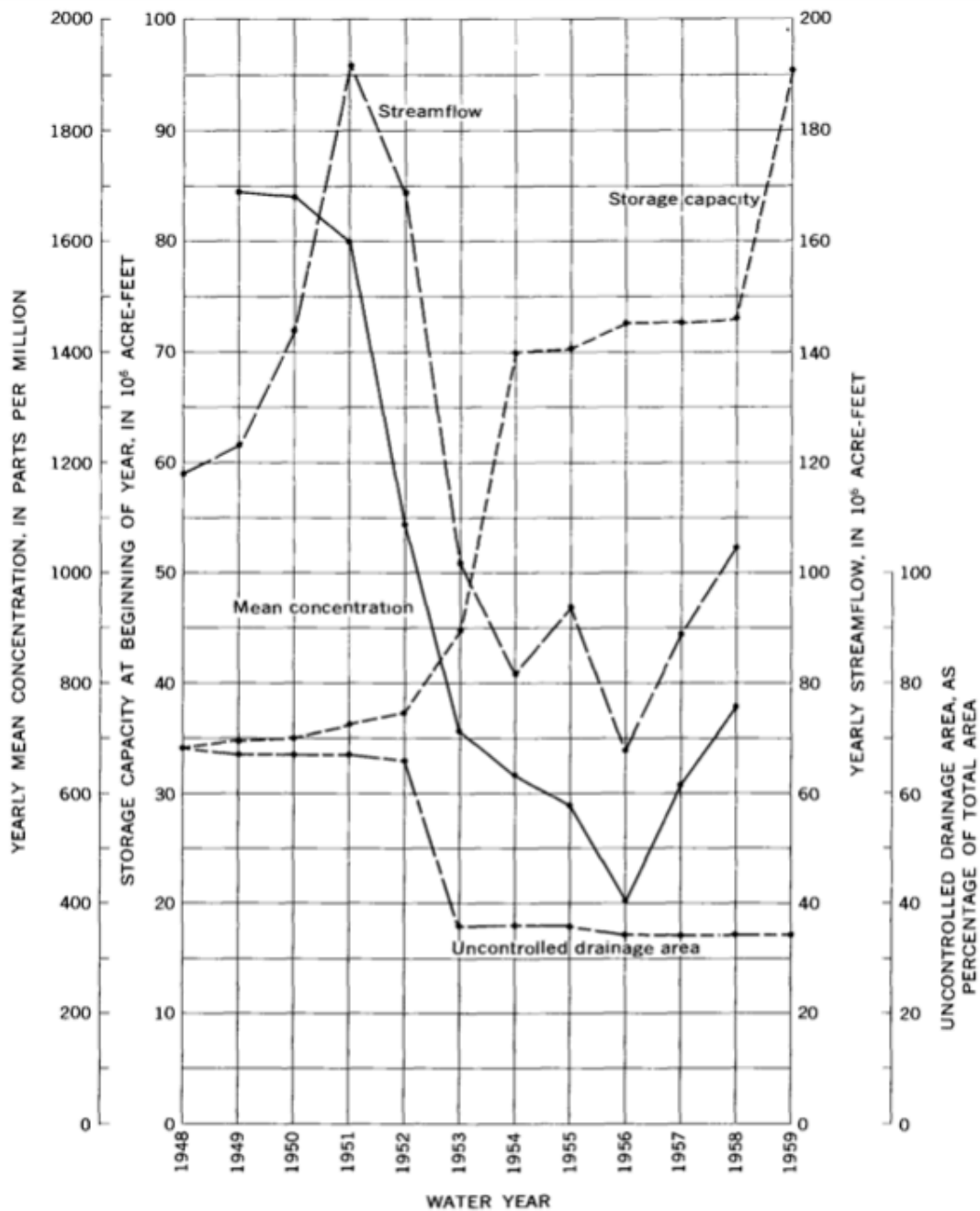


**Fig. 32.:** Effect of sediment on the turbulence constant computed from the vertical distribution of velocity. Data for the Mississippi River added to figure 15 of Einstein and Chien (1955). [18]



*Fig. 33.: Relation of measured bed-material discharge to mean velocity and water temperature. [18]*





**Fig. 34.:** Factors affecting mean concentration. [18]

Except for the first 3 years of sediment record, the mean concentration followed closely the trend of streamflow. Even though the mean concentration is probably affected by the reservoir storage capacity and by the amount of uncontrolled drainage area, the effects are obscured by the close relation of concentration to streamflow. Because the river can pick up material from its bed and banks, the effects of storage on the sediment concentration may not be apparent as far downstream as St. Louis until many years after the beginning of storage. [18]

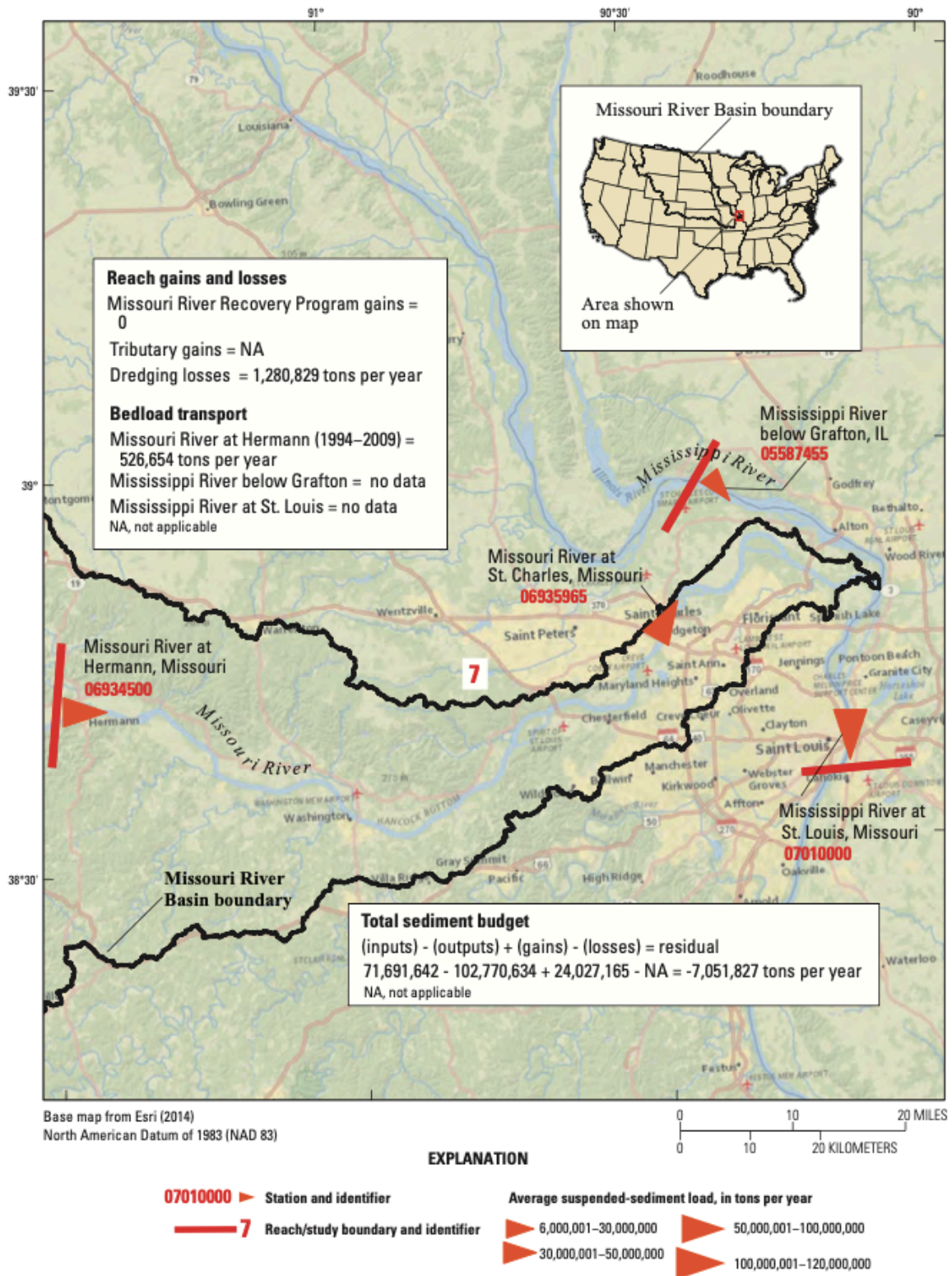


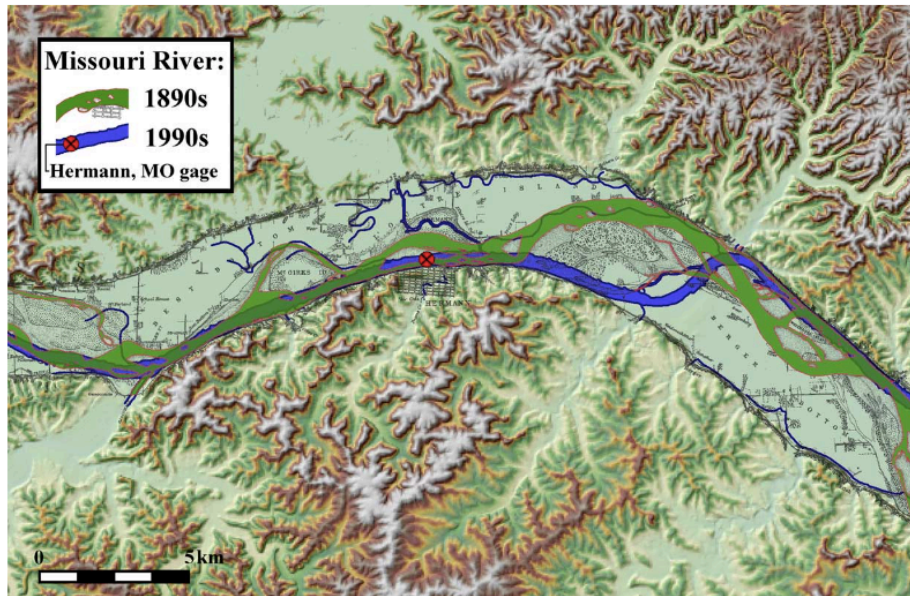
Fig. 35.: Long-term average sediment budget, Lower Missouri River reach 7, Hermann, Missouri, to St. Louis, Missouri, 1968–2014. [20]

Pool	Substrate Particle Size in Percent			
	Silt	Sand	Gravel	Boulder
9	8.4	91.6	0	0
10	5.6	92.9	1.2	0.1
11	11.1	86.5	2.5	0
12	18.7	77.5	2.4	1.0
13	17.0	75.4	7.0	0.6
14	32.7	63.1	3.0	1.2
15	0	100.0	0	0
16	10.5	75.0	13.4	1.6
17	14.7	69.9	7.1	8.4
18	21.9	64.6	3.9	9.3
19	17.5	68.0	6.5	7.8
Mean Total	14.4	78.6	4.3	2.7

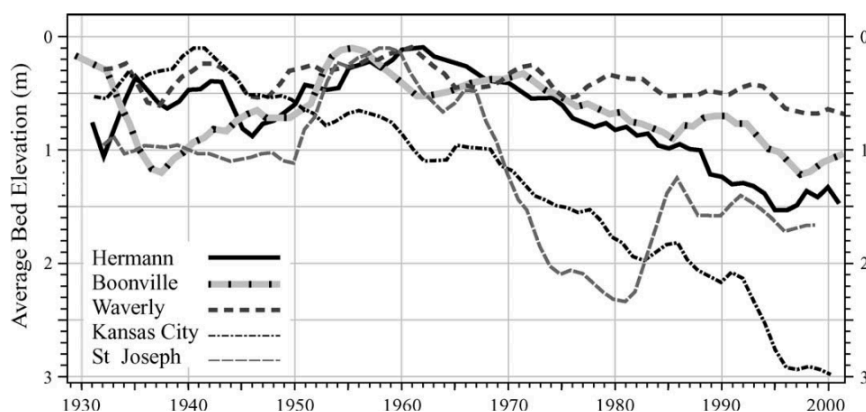
**Table 7.:** Mean percent composition of substrate particle size by pool on the Upper Mississippi River bordering Iowa, 1979. [13]

*Sand was the dominant bottom ty-pe in all pools comprising 78.6 percent of the total substrate material collected. The highest percent composition of sand by pool was 100 percent in Pool 15. Silt was the second most abundant substrate material at 14.4 percent. The greatest percent of Silt was 32.7 in Pool 14. Gravel was the third most abundant substrate material at 4.3 percent and boulder was the least abundant at 2.7 percent. Gravel was most abundant in Pool 16 with 13.4 percent, with boulder most abundant in Pool 18 with 9.3 percent. [13]*

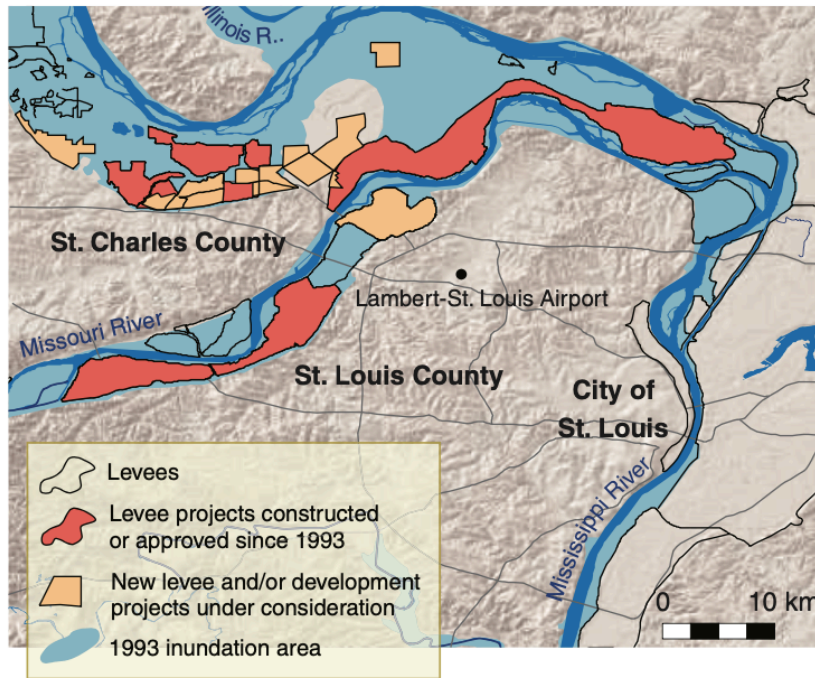
## 5. Hydrodynamic and morphodynamic response to rivers engineering



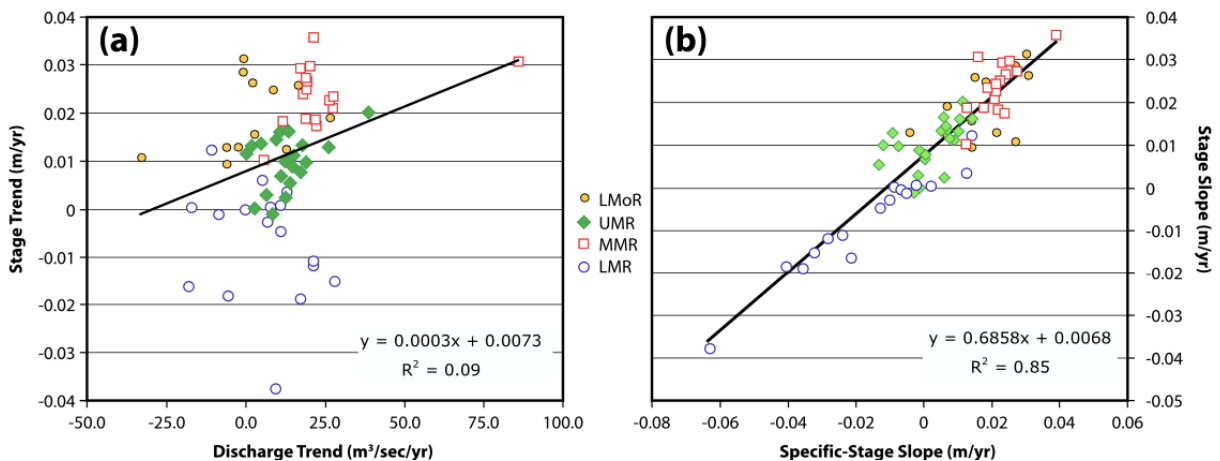
**Fig. 36.:** Changes in the Lower Missouri River near Hermann, Missouri from the late 19th century to the present. Nineteenth-century information is from Missouri River Commission (1898), consisting of detailed survey maps of the Missouri River compiled as early as 1879, registered and rectified to a recent digital orthophoto quadrangle (DOQ). The background image shows color-coded shaded relief. The long-term effects of regulation on the channel pattern of the Lower Missouri can be seen, including: transformation of the earlier multi-thread channel into a single homogeneous channel, decreased sinuosity, and corresponding loss of islands and secondary channels. [2].



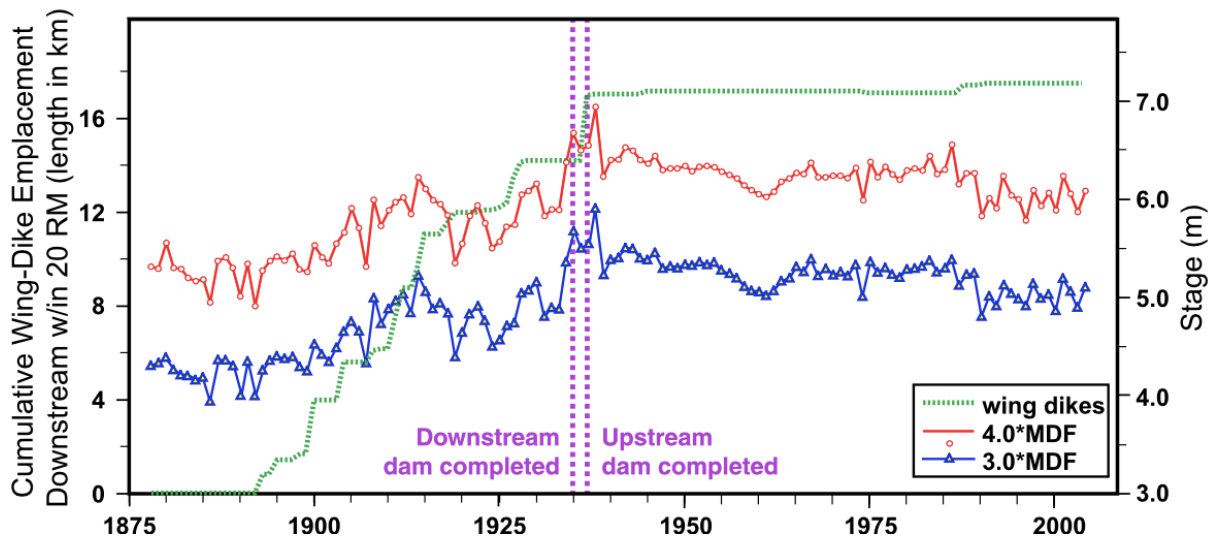
**Fig. 37.:** Changes in average bed elevation at the five Lower Missouri River stations in the study area. Change is measured relative to the highest position of the bed during the period of record, and is shown as a 5-year running average. Channel incision is seen at all sites from about 1960 to the present, a process attributed to sediment starvation resulting from dams constructed upstream, accentuated by local channel constriction and straightening. [2].



**Fig. 38.:** A surge of floodplain development. Levee and floodplain development projects in the greater St. Louis, Missouri, area. This map includes new and enlarged levees and elevation of flood-plain land completed since 1993 and development projects under review or proposed. [5]



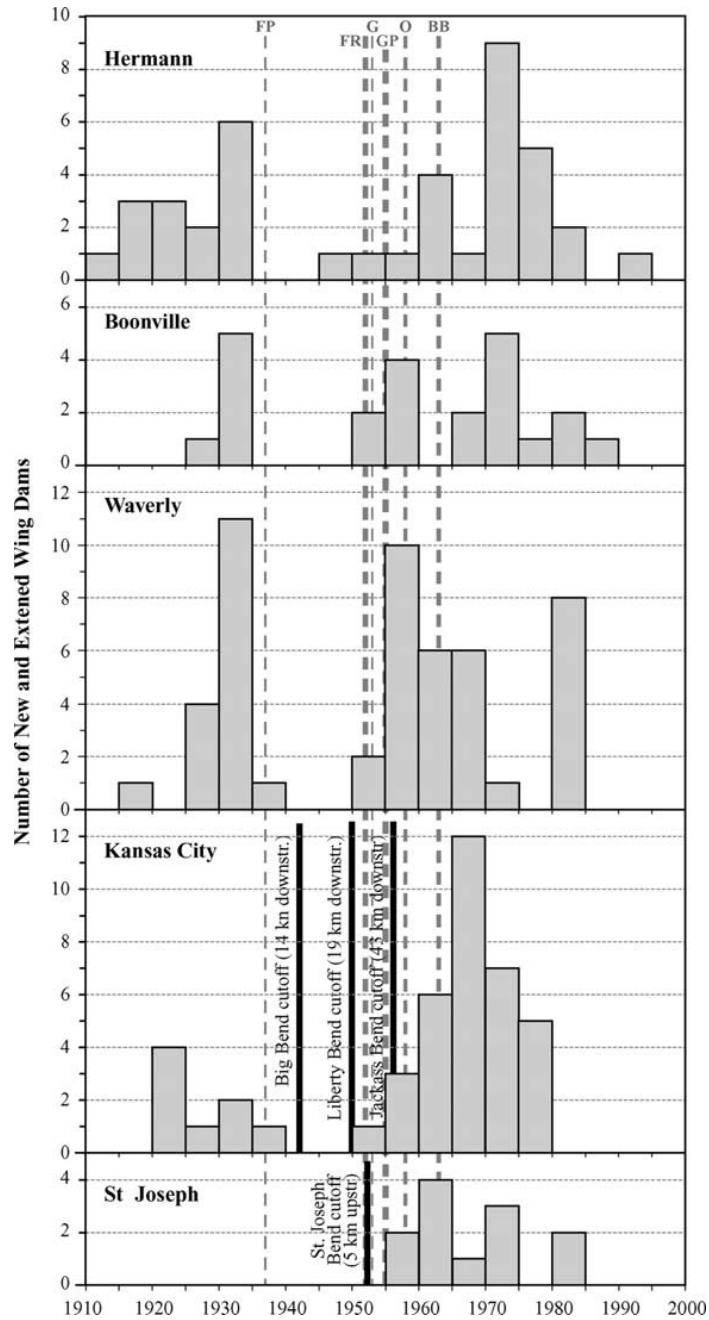
**Fig. 39.:** Slopes of trendlines in specific stage correlate (a) poorly with discharge trends but (b) well with slopes of maximum annual stages. Maximum annual stages respond to all climate- and land-use-driven changes in flow plus instream conveyance changes. The good correlation in Figure 36 (b) and the poor correlation in Figure 36 (a) suggests that the instream changes had a greater effect upon net flood magnitudes over time on this river system. [10]



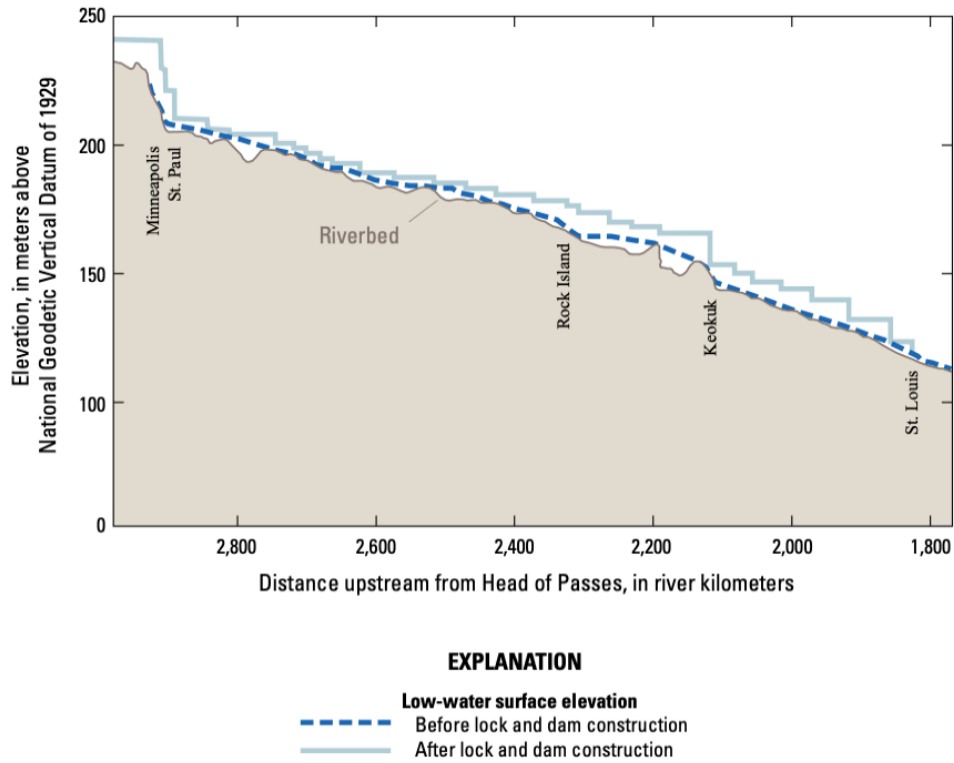
**Fig. 40.:** Hydrologic response at Dubuque, Iowa to wing-dike construction (1880–1940.) and emplacement of navigational dams (1940.). Wing-dike index (green) shows cumulative length of wing dikes (in km) within 20 RM downstream. Specific stages increase with wing-dike construction, step up coincident with dam completion (and a last pulse of wing dikes), and subsequently gently decline due to mild incision. [10]

Pool	Total Wing Dam Lengths in Feet		Loss of Structure Length	
	Constructed	Present in 1979	Feet	Percent
9	12,867	5,721	7,146	56
10	38,590	20,095	18,495	48
11	50,610	30,315	20,295	40
12	29,296	18,130	11,166	38
13	44,184	32,340	11,844	27
14	33,480	24,663	8,817	26
15	5,855	3,150	2,705	46
16	38,007	29,023	8,984	24
17	24,520	16,622	7,898	32
18	75,272	27,564	47,708	63
19	34,033	11,330	22,703	67
Total	386,714	218,953	167,761	43

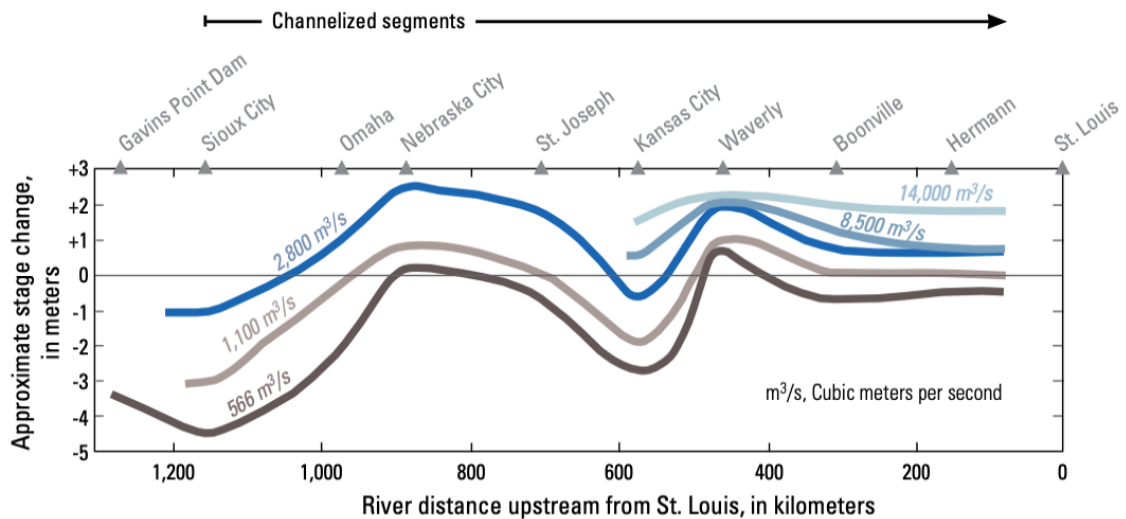
**Table. 8.:** Comparison of total length of wing and closing dams constructed with the total length present in 1979 by Pool on the Upper Mississippi River bordering Iowa. [13]



**Fig. 41.:** Number of wing-dams constructed or extended in the 3.2 km upstream and downstream of each gage (1 river mile upstream and 1 mile downstream), from a GIS database of wing dams and revetments constructed by the Corps of Engineers in the study reach. This database was constructed using information obtained from the Kansas City District, USACE. This information included dates of construction of all new or extended structures as well as their location, length, orientation, and design specifications. These attributes were imported into ARC/INFO, and locations were registered and rectified into a uniform reference frame. Also shown are the dates of meander cutoffs in the vicinity (occurred near Kansas City and St Joseph) and the dates of closure of the mainstem dams upstream on the Missouri River. Dates of dam closures are show as vertical grey lines, with line thickness showing relative distance upstream (thinnest line indicates location farthest upstream). FP is Fort Peck Dam; FR is Fort Randall Dam; G is Garrison Dam; GP is Gavins Point Dam; O is Oahe Dam; and BB is Big Bend Dam. [2].



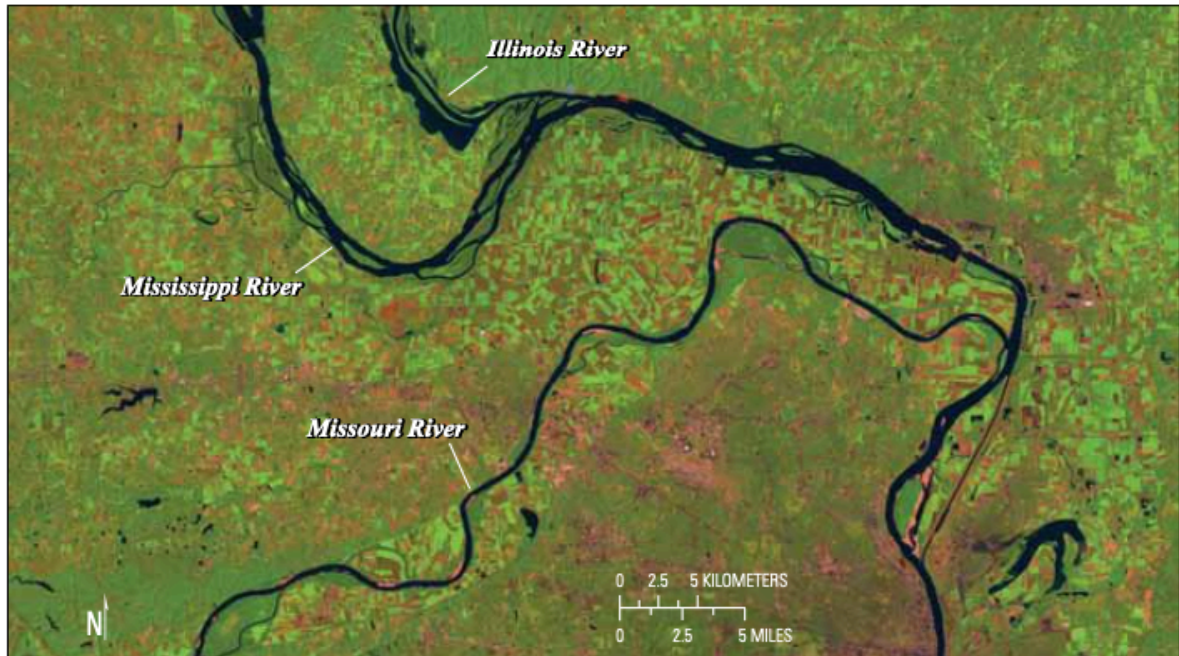
**Fig. 42.:** Low-water surface elevation profiles on the upper Mississippi River before and after construction of navigation locks and dams (modified from Meade, 1995). [15]



**Fig. 43.:** Generalized longitudinal patterns of bed-elevation changes along the lower Missouri River from 1954 to the mid-1990s depicted as stage changes for constant discharge at measurement stations downstream from Gavins Point Dam (modified from Jacobson and Galat, 2008). [15]

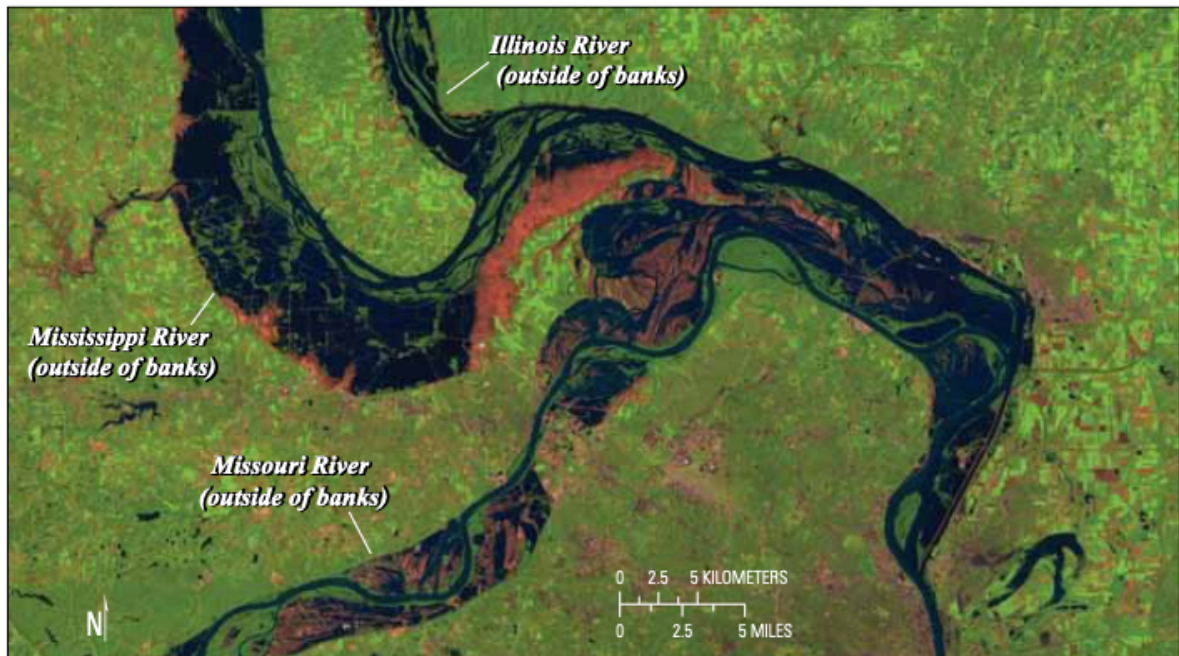


## 6. Attachments



Satellite image courtesy of Jesse Allen, National Aeronautics and Space Administration Earth Observatory and U.S. Geological Survey Earth Resources Observation Systems Data Center

**B. August 19, 1993—Rivers at peak of Great Flood of 1993**



Satellite image courtesy of Jesse Allen, National Aeronautics and Space Administration Earth Observatory and U.S. Geological Survey Earth Resources Observation Systems Data Center

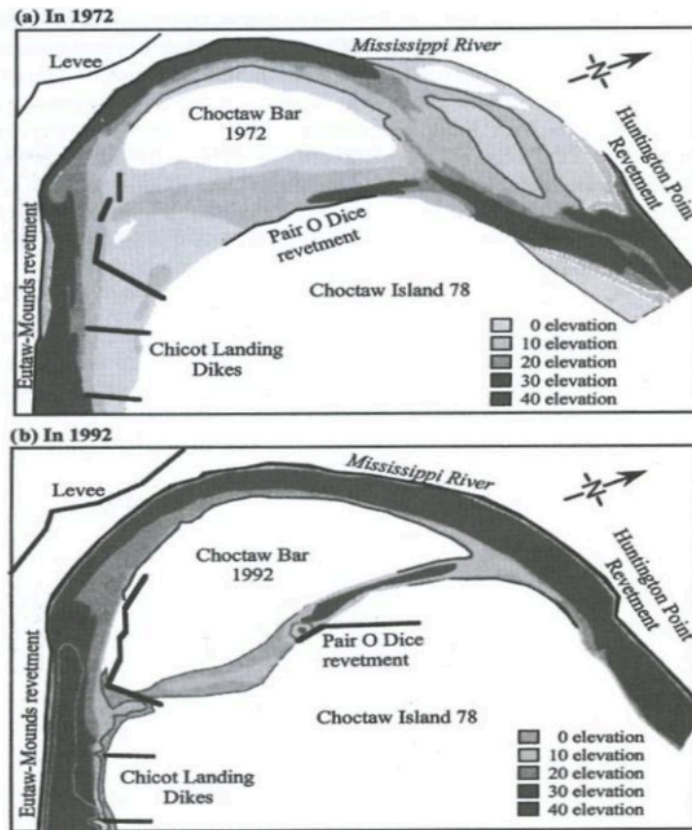
**Fig. 44.:** Aerial view of the Mississippi River before (top) and after the flood of 1993 (bottom). [15;17]



*Fig. 45.: Confluence of the Mississippi and Missouri River in August of 1993. [17]*



*Fig. 46.: Levee failure on the Mississippi River during the 1993 flood event. [17]*



**Fig. 47.:** Dredging and revetments at Choctaw bar of the Mississippi River to improve navigation. [17]



**Fig. 48.:** Example of a channel bar formed as a result of revetments, Upper Mississippi, [17]

**A. September 1934**



**B. November 1934**



**C. August 1936**



**D. May 1946**



*Fig. 49 (A-D).: The siltation of a dike system, Indian Cave Bend, Missouri River. [15]*

## **7. Sources:**

- [1] : Eos; Assessing Flood Hazard on Dynamic Rivers; Vol.: 82, No.: 31, July 31 2001, Pages: 333-344
- [2] : Nicholas Pinter, Reuben A. Heine; Hydrodynamic and morphodynamic response to river engineering documented by fixed discharge analysis, Lower Missouri River USA; Journal of Hydrology 302 (2005) 70-91
- [3] : Edward Brauer, P.E. Applied River Engineering Center U.S. Corps of Engineers – St. Louis District; Analyzing the Effects of Navigation Structures; Smart Rivers 2011, September 13-16 2011, Westin Canal Place New Orleans, Louisiana, U.S.A.
- [4] : Roberto Fernández, S.M. ASCE, Marcelo H. García, Dist.M.ASCE and Gary Parker, M.ASCE; Upper Mississippi River Flow and Sediment Characteristics and Their Effects on a Harbor Siltation Case; J. Hydraul Eng., 2018 144(10): 04018066
- [5] : Nicholas Pinter; One Step Forward, Two Steps Back on U.S. Floodplains; Science 308 (5719), 207-208, DOI: 10.1126/science.1108411
- [6] : Mohammed Yossef; The Effect of the Submergence Level on the Resistance of Groynes an Experimental Investigation; Research Gate, January 2004;
- [7] : Kensuke Naito((IAHR Member), PhD Student), Hongbo Ma (Postdoctoral Research Associate), Jeffrey A. Nittrouer (Assistant Professor), Yuanfeng Zhang (Professor), Baosheng Wu ((IAHR Member), Professor), Yuanjian Wang (Deputy Chief Engineer), Xudong Fu (Professor) & Gary Parker ((IAHR Member), Professor) ; Extended Engelund-Hansen type sediment transport relation for mixtures based on the sandsilt-bed Lower Yellow River, China; Journal of Hydraulic Research; 57:6, 770-785
- [8] : Nicholas Pinter, Jennifer Dierauer and Jonathan W. F. Remo; Flood-loss modelling for assessing impacts of flood-frequency adjustment, Middle Mississippi River, USA; Hydrol. Process. 26, 2997-3002 (2012)
- [9] : Scott V. Mize; Suspended sediment concentrations and loads in the Lower Mississippi and Atchafalaya Rivers decreased by half between 1980 and 2015; Research Gate, in Journal of Hydrology, June 2018
- [10] : Jonathan W. F. Remo, Reuben A. Heine and Brian Scott Ickes; Flood Trends and River Engineering on the Mississippi River System; Research Gate, in Geophysical Research Letters, December 2008
- [11] : Chester C. Watson, P.E., F.ASCE, David S. Biedenharn P.E., M.ASCE and Colin R. Thorne, A.M.ASCE; Analysis of the Impacts of Dikes on Flood Stages in the Middle Mississippi River; J. Hydraul Eng., 2013.139:1071-1078.

[12] : Chenge An, Zheng Gong, Kensuke Naito, Gary Parker, Marvan A. Hassan, Hongbo Ma and Xudong Fu; Grain Size-Specific Engelund Hansen Type Relation for Bed Material Load in Sand-Bed Rivers, With Application to the Mississippi River; Water Resources Research 10.1029/2020WR027517

[13] : Tom Boland Fisheries Biologist; A Classification of the Wing and Closing Dams on the Upper Mississippi River Bordering Iowa; Iowa Conservation Commission Wallace Building Des Moines, Iowa 50319

[14] : Analysis of Corridor Conditions

[15] : Jason S. Alexander – Richard C. Wilson and W. Reed Green; A Brief History and Summary of the Effects Engineering and Dams n the Mississippi River System and Delta; U.S. Geological Survey , Reston, Virginia: 2012

[16] : Kensuke Naito and Gary Parker; Bankfull Discharge and Bankfull Characteristics of Alluvial Rivers or 'Can we get beyond the 1,5 year flood?'; University of Illinois Urbana-Champaign Prepared for River Restoration Northwest Conference, 2019/02/05

[17] : Pierre Y. Julien and Chad W. Vensel; Review of Sedimentation Issues on he Mississippi River; Department of Civil and Environmental Engineering, Colorado State University, November 2005

[18] : Paul R. Jordan; Fluvial Sediment of the Mississippi Rivera at St. Louis, Missouri; Geological Survey Water-Supply Paper 1802; United States overnment Printing Office, Washington: 1965.

[19] : Richard J. Huizinga; Examination of Direct Discharge Measurement Data and Historic Daily Data for Selected Gages ont he Middle Mississippi River, 1861-2008; Scientific Investigations Report 2009-5232

[20] : David C. Heimann; Generalized Sediment Budgets of the Lower Missouri River, 1968-2014; Scientific Investigations Report 2016-5097