

**BALATONAKARATTYA, OKTATÁSI ÉS KONFERENCIA KÖZPONT  
TERVEZETT KIKÖTŐ  
KÉTDIMENZIÓS HIDRODINAMIKAI MODELL**

**MEGRENDELŐ:** **OPTIMUM-GAMMA INGATLANBEFEKTETÉSI KFT.**  
1013 Budapest, Döbrentei utca 2.  
Képviseli: Ille Balázs projektvezető

**TERVEZŐ:** **TÉR-TEAM Kft.**  
1094 Budapest, Páva u.6.  
Tel.: (1) 299-0825, Fax: (1) 299-0826  
iroda@ter-team.hu

**VEZETŐ TERVEZŐK:**

**RÉDLY LÁSZLÓ**

okl. építőmérnök

Vízgazdálkodási építmények vezető tervező VZ-TER/01-1766

Geotechnikai tervező GT/01-1766

Hajózási építmények vezető tervező KÉ-HA/01-1766

Vízépítési nagyműtárgyak szakértő SZVV-3.6/01-1766

Hidraulikai szakértő SZVV-3.7/01-1766

**SZABÓ GÁBOR**

okl. táj- és kertépítész mérnök

okl. városrendezési és városgazdasági szakmérnök

Települési víziközmű vezető tervező VZ-TEL/01-6086

Vízgazdálkodási építmények vezető tervező VZ-TER/01-6086

Tájvédelmi szakértő SZTjV SZ-038/2010

Építőmérnök munkatárs:

**MÓCZÁRNÉ JOBBÁGY RÉKA**

okl. építőmérnök

**FÜRT RENÁTA**

okl. építőmérnök

Ez a terv a TÉR-TEAM Mérnök Kft. szellemi terméke, védelmét jogszabály biztosítja!

Budapest, 2019. május

**BALATONAKARATTYA, OKTATÁSI ÉS KONFERENCIA KÖZPONT  
TERVEZETT KIKÖTŐ  
KÉTDIMENZIÓS HIDRODINAMIKAI MODELL**

TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. ELŐZMÉNYEK, A MEGBÍZÁS TÁRGYA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ÁLTALÁNOS ADATOK .....</b>	<b>3</b>
2.1 Hidrológiai adatok.....	4
2.2 Mederdomborzat .....	4
2.3 Mértékadó szelek .....	5
2.4 Hullámozás.....	6
<b>3. ÁRAMLÁS, HULLÁMOZÁS ÉS ÜLEDÉKMOZGÁS .....</b>	<b>8</b>
3.1 Hullámjelenségek .....	9
<b>4. HIDRODINAMIKAI MODELLEZÉS.....</b>	<b>12</b>
4.1 Kalibrálás.....	15
<b>5. MODELLEREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE .....</b>	<b>16</b>
5.1 Balaton K-i medence áramképe .....	16
5.2 Tervezett kikötő környezetének áramképe .....	19
5.2.1 DNY-i-szél.....	19
5.2.2 ÉNy-i- szél.....	21
<b>6. KÖVETKEZTETÉSEK .....</b>	<b>22</b>
<b>7. IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>23</b>



## 2.1 Hidrológiai adatok

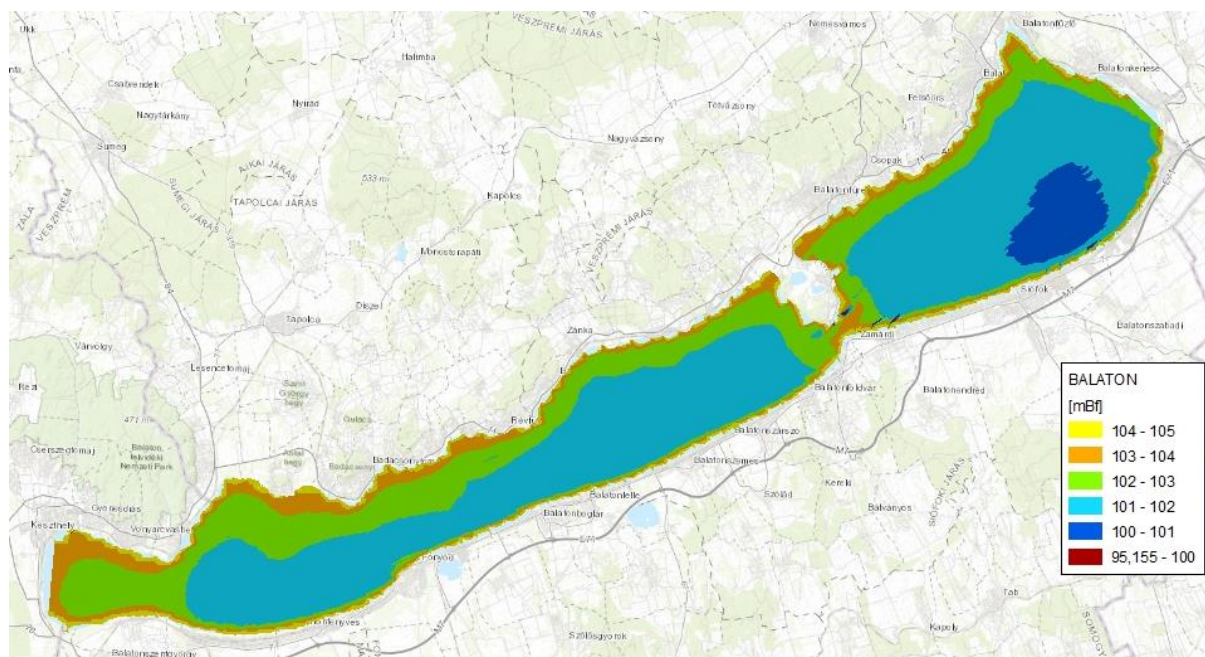
A szélesség és szélirány időbeli és térbeli változásain túl az áramlás módosulhat a vízjárással is.

A vízállások meghatározása szempontjából a Siófoki vízmérce az irányadó.

A vízmérce nullpontja:		103,411 mBf
Legnagyobb szabályozási vízszint:	<b>+120</b>	104,611 mBf
Legkisebb szabályozási vízszint:	<b>+70</b>	104,111 mBf

## 2.2 Mederdomborzat

A hidrodinamikai számítások geometriai alapját képező digitális medermodellt több forrásból szerkesztettük meg. A 2016-ban a Balaton levezető rendszerének korszerűsítését megalapozó mederfelmérés ritkább keresztmetszvényekkel – VO szelvények mentén – fedte le a medret. A tervezett kikötő környezetében ezeket az adatokat finomítottuk a 2019. februárban a tervezett kikötő területén végzett sűrített mederfelmérés adataival.



2. ábra Balaton mederdomborzati térkép

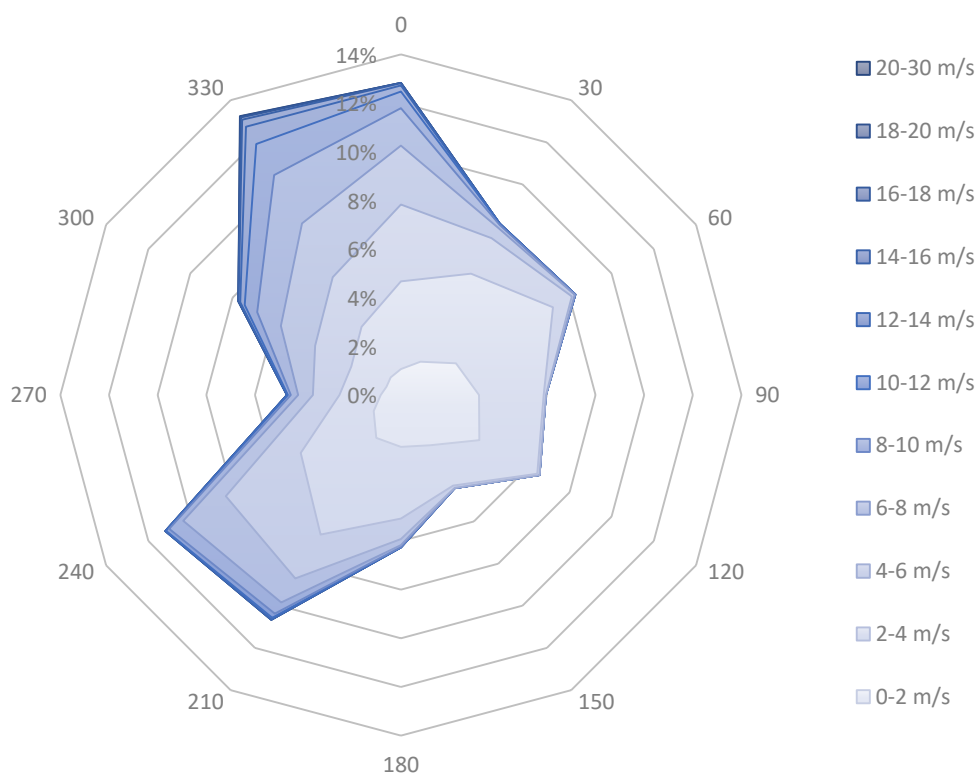
A mederprofil meglehetősen sík, enyhén lejtő felszín. A meder az északi part közelében sekélyebb, a legmélyebb terület a Tihanyi-szorosban kis területen jelentkezik, de a legnagyobb kiterjedésű Siófok és Balatonaliga között a déli parton található. Ennek ellenére a Tihanyi-szorosban azonban magasabb (103,-104 mBf) mederszintek a jellemzők.

### 2.3 Mértékadó szelek

A Balaton különböző részein akár egyidőben más-más szélviszonyok is jelentkezhetnek, de alapvetően uralkodó szélirány az É-ÉNy-i.

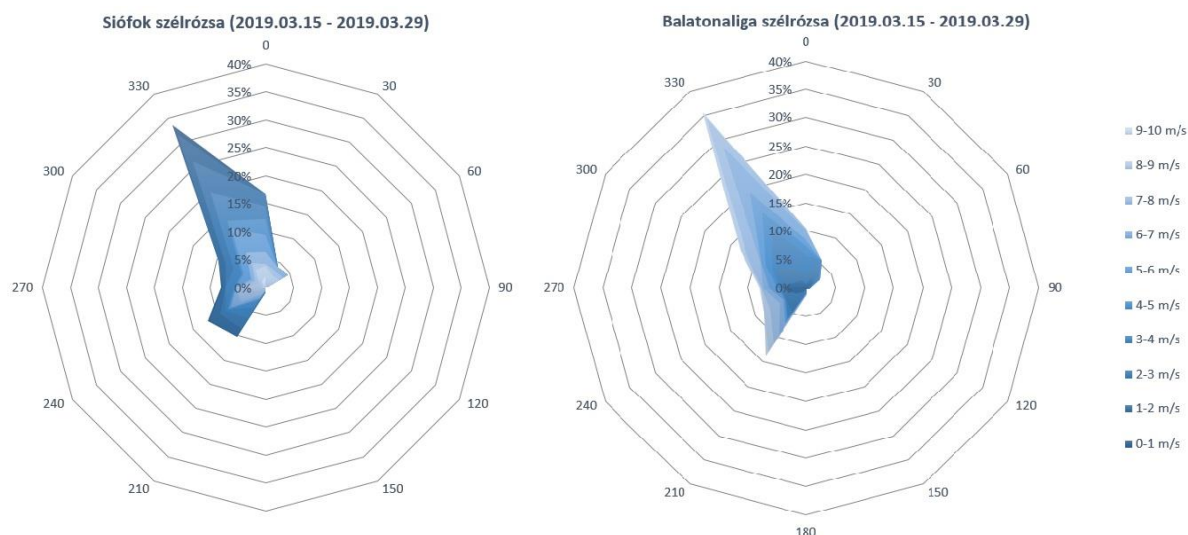
A mértékadó szelek nagyságát és irányát a gyakoriság előállításával lehet meghatározni.

Széladatokat a kikötő területén és közelében nehézkes beszerezni, ezért a szélesebb és a szélirány keleti tórészre jellemző gyakoriságát a siófoki obszervatórium széladatai alapján határoztuk meg. A széladatokat az 1999 – 2019 közötti időszakra állnak rendelkezésre a NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) adatbázisában. A mérési adatok órás felbontásúak, melyből szélrózsát szerkesztettünk.



3. ábra Siófoki állomás szélrózsája

A meteoblue adatbázisban rendelkezésre álltak az utolsó 2 hét szélesebb és szélirány adatai Balatonaligán, Siófokon és Balatonakarattyán (bár a Balatonakarattyai állomás a magasparton észlel). Ezt a 2 hetet összehasonlítva, feltételeztük, hogy a siófoki 20 éves időszorból levont következtetések érvényesek a tervezett kikötő helyszínén is.



4. ábra Siófoki és Balatonaligai állomások szélrózsája

A siófoki adatok alapján a leggyakoribb, legnagyobb súlyal rendelkező szélirányok és az egyes irányokban mértékadó – a legnagyobb súlyú – szélesebségek az alábbiak:

	Szélirány	Szélirány [°]	Szélesebesség [m/s]	Szélesebesség [km/h]
1	É	0	6	21,6
2	É-ÉK	15	8	28,8
3	DNY	225	6	21,6
4	É-ÉNY	330	10	36

A Beaufort-skálán ezek a leggyakrabban előforduló szelek 4-5 fokozatú – mérsékelt és erős – szelek. Jellemzőjük, hogy hosszabbak a hullámok, gyakoribbak a fehér tarajos hullámok, határozottabb hosszú alakkal.

Szeles állapotban a tófelszín kilendül, tehát a vízmélységek nemcsak a vízjárástól, hanem a kilendülés mértékétől is függnék. Az É-ÉNY-i szelek esetén a víztömeg súlypontja a déli part irányába tolódik, mely az északi parton vízszintsüllyedést okoz, míg a DNY-i szelek esetén a keleti medence északi partján - Balatonfüred térségében - számottevő vízszintemelkedés következhet be.

## 2.4 Hullámozás

Magyarországon hullámozásadatok és hullámmagasság adatok nyilvánosan nem elérhetők. Hullám előrejelzést az OMSZ készítette. A vízfelszín fodrozódásán keresztül érzékelhető a szélárnyékolás és a hullámozás fokozatos kifejlődése Google űrfelvételeken is. Alább a tervezési terület környezetében jellemző hullámfrontok láthatók.



5. ábra Hullámterjedés iránya É-i szélnél (Google úrfelvétel, 2018.11.14. Balatonakarattya, 2018.11.14. 350 fokos 6 m/s szél)



6. ábra Hullámterjedés iránya DNY-i szélnél (Google úrfelvétel, 2009.11.13. Balatonakarattya, , 2009.11.13 260 fokos 5 m/s szél)



7. ábra Balatonakarattya hullámozás (2019.03.30. NY-DNY-i szél)

### 3. ÁRAMLÁS, HULLÁMZÁS ÉS ÜLEDÉKMOZGÁS

Korábbi vizsgálatok alapján tény (Luettich et al 1990, Józsa et al. 1998, [1]), hogy a Balaton part közelében az üledék felkeveredést a hullámozás okozza, azonban rövid meghajtási hosszak és alacsony hullámmagasság esetén önmagában az áramlás is képes megmozdítani a kiülepedett legfelső, hígabb üledéket. Ezzel szemben nagyobb hullámozás hatása nemcsak partközelen, hanem a tó 3 m mély részein is elérheti a mederfenéket.

A mederüledék felkeveredésére és átrendeződésre a mederfenéken fellépő fenécsúszató feszültségekből lehetne következtetni. A felső, leglazább üledék felkeveréséhez 0,01 - 0,025 Pa, míg a sűrűbb, konszolidáltabb üledékréteg megmozgatásához 0,5 - 1 Pa értéket meghaladó fenécsúszató feszültség szükséges [1].

Tapasztalatok szerint (Németh 2013,[1]) az üledék felkeveréséhez a tó nagyléptékű kőröző áramlásainak beindításához a szélesebbességnek meg kell haladnia az 5 m/s-os értéket. A mederváltozás nem a gyakori, enyhébb szelek összegzett hatásához köthető, hanem a ritkább, erős és tartós viharokhoz, melyek erős hullámozást keltenek. Az erős hullámozás képes felkeverni a mederfelszínen konszolidálódott üledéket és az áramlatokkal a vízben lebegtetve nagyobb távolságba elszállítani.

Tavak felszínén szél hatására hullámozás alakul ki, mely a vízfelszín alatt a mélységgel csillapodik. A felszíni hullámozás tulajdonképpen periodikus vízszintingadozás, a vízrészecskék zárt görbén való – orbitális – mozgása.

A hullámmagasság a vízfelszín függőleges kimozdulásának szélsőértékei közti különbséget jelenti. A hullámmagasságból számítható hullámhossz és vízmélység



arányától függően lehet a tavakat csoportosítani nagy, átmeneti és sekély vízmélységű tavakra.

Rövid hullám esetén a vírzecskék pályája szinte szabályos kör alakú és a hullám hatása nem ér le a mederfenéig (mély víz).

Hosszú hullámnál a függő alsóbb rétegeiben a vírzecskék pályája ellipszissé alakul, így a mederfenék már hatással van a hullámra (így a vírzecskék mozgására is). A mederfenék közvetlen környezetében a részecskék pályája teljesen ellaposodik és vízszintes irányban „sikálják” a mederfenéket (kölcsonhatásba lépnek egymással), melynek hatására a mederfenék fellazul (sekély víz). A vízmélység tehát felső korlátot szab a hullámmagasságnak.

A Balatonban a jellemző szélviszonyok hatására keltett hullámok kölcsönhatásba kerülnek a mederfenékkal, ezért a Balaton a sekély vizű tavak közé sorolható.

Hosszú hullám esetén a mederfenék és a hullám közötti kölcsönhatás nemcsak a mederanyag felkeveredését és a hullámmagasságot korlátozza, hanem a hullámfront terjedésének irányát is befolyásolja.

Szél keltette hullámzás fő hatótényezői: szélesebbesség, meghajtási hossz, vízmélység. A hullám terjedési sebessége:

$$c = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \operatorname{th} \frac{2\pi h}{L}}$$

ahol  $c$  – hullám terjedési sebessége [m/s]

$g$  – nehézségi gyorsulás [m/s<sup>2</sup>]

$T$  – periódusidő [s]

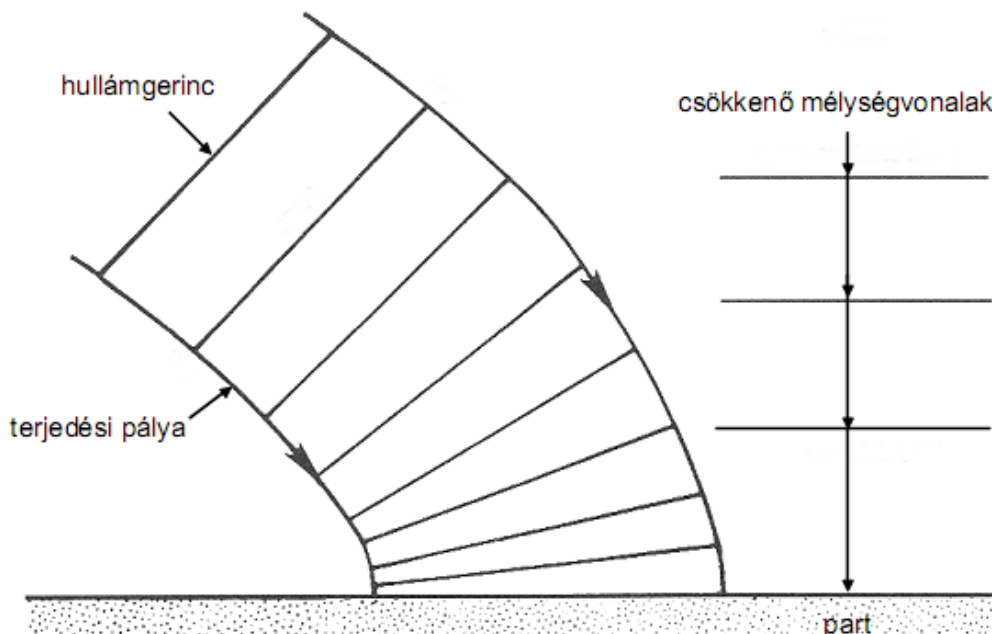
$L$  – hullámhossz [m]

$h$  – vízmélység [m]

### 3.1 Hullámjelenségek

Az összefüggés alapján belátható, hogy a sekélyebb vízbe érkező hullámok magasságcsökkenése miatt a terjedési sebességük is lelassul. Ahogy a hullámok fejlődnek, egyre nagyobb felületet képeznek, mellyel a szél kölcsönhatásba lép és erőt fejt ki rá (szélnyírás). Ahogy fejlődnek egyre kerekesebbek és hosszabbak lesznek, valamint egyre gyorsabban haladnak. A maximális az az állapot, amikor sebességük majdnem megegyezik a szélesebbeséggel.

A **hullámrefrakció** jelensége, amikor a mélységváltozás hatására a terjedési irány és a hullámfront helyzete megváltozik. A partra nem merőlegesen terjedő hullámok esetében a hullámfrontnak az a része, ami előbb éri el a sekélyebb vizet, lelassul. A mélységvonalakra ferde hullámfront esetén eltérő terjedési sebességek miatt a front végül befordul a parttal párhuzamosra. A hullámnak az egyenes vonalú terjedéstől való eltérését hullámelhajlásnak vagy diffrakciónak nevezzük.

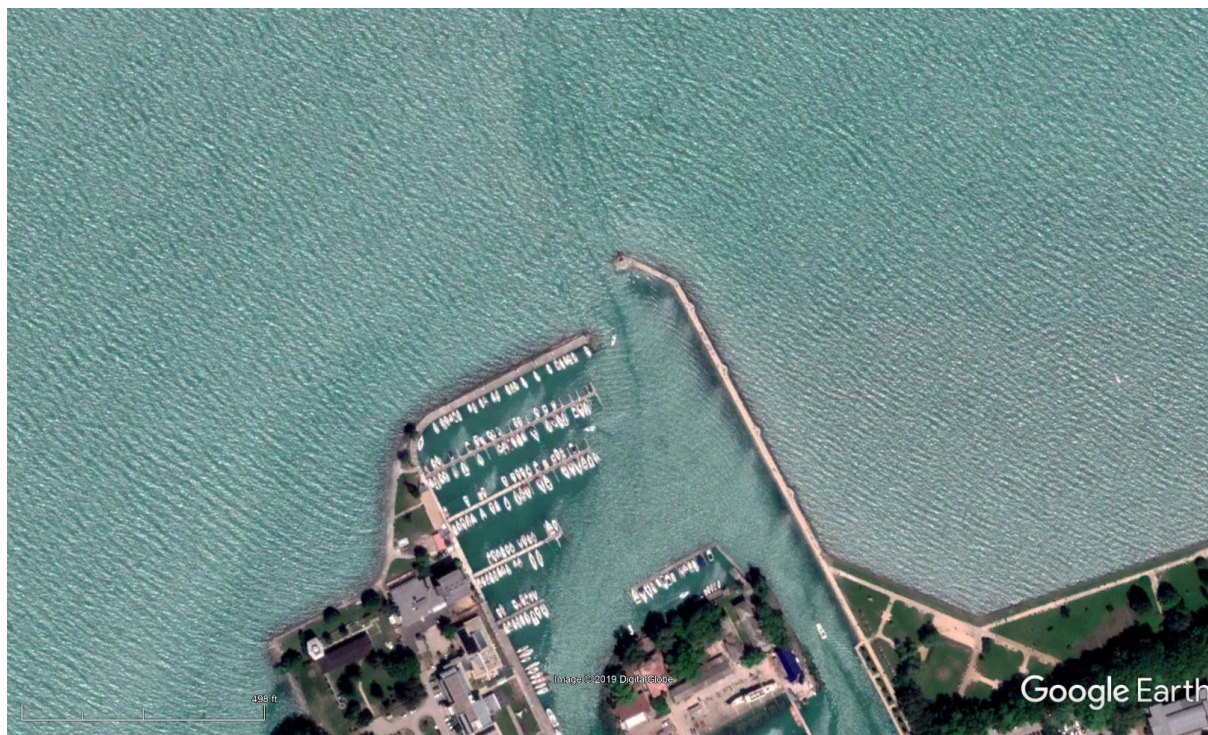


8. ábra Hullámrefrakció jelensége (Forrás: [2])

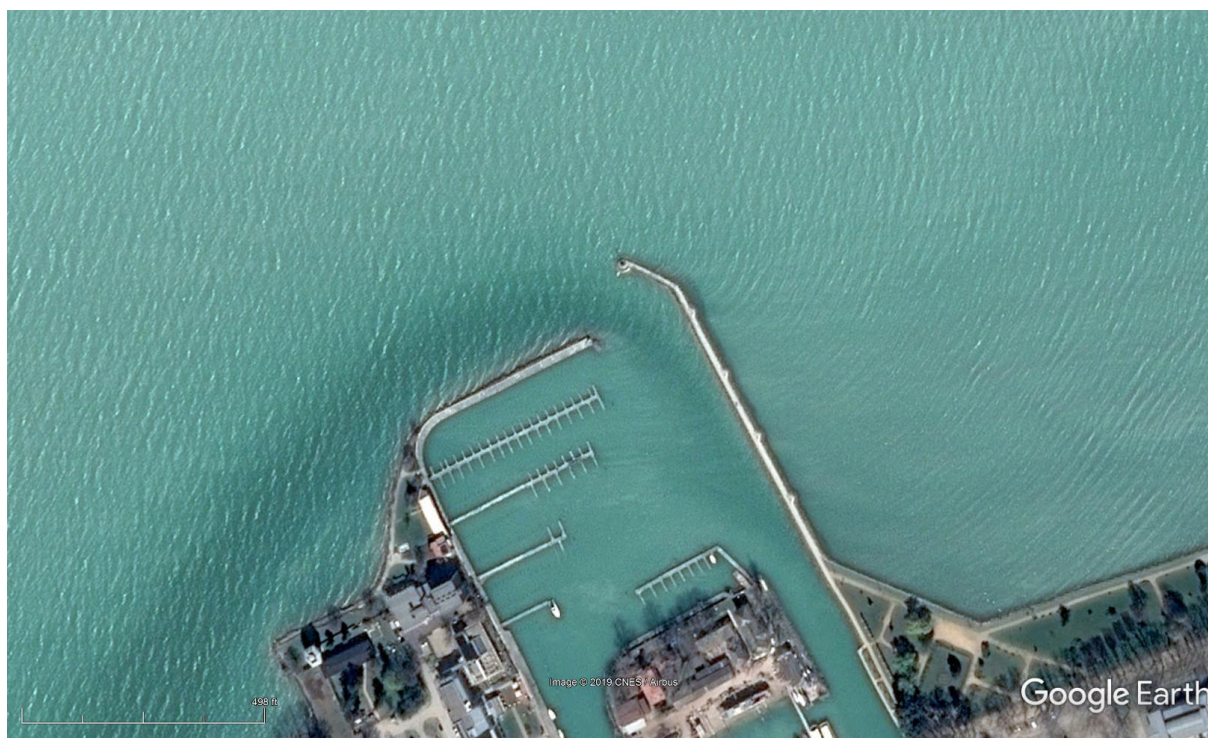
Ha a mélyebb vizek felől a sekélyebb részekre hosszú hullámok érkeznek, a mederfenék erős kölcsönhatása miatt már nem tudnak ugyanakkora hullámmagassággal tovább haladni. Kellő mély és sekély víz közötti átmeneti szakasz hiányában a hosszú hullámoknak nincs idejük rövid hullámmá alakulni, ekkor a hirtelen jelentkező hullámmagasság korlátozó hatása miatt a hullámok megtörnek. Ez a jelenség figyelhető meg a partra futó hullámoknál.

A Huygens-Fresnel-elv szerint a hullámvonal minden pontja elemi hullámok forrása is. A vízfelszínen kialakuló hullámjelenségek ezeknek az elemi hullámoknak az interferenciájából (olyan hullámok találkoznak, amelyek fáziskülönbsége állandó) adódnak. A látható hullámfrontot adott pillanatban az elemi hullámok közös burkolója adja.

Ha a hullám az irányára merőleges akadály résén hatol át (pl. kikötőbejárat), akkor behajlik az akadály által árnyékolt területre is. Ez a jelenség a **hullám diffrakció**. A rés két végéhez érkező elemi hullámok a tér minden irányába, a védett rész felé is haladnak. Ez a jelenség gyakori a mólószáras kikötőknél. Ha a rés mérete közel azonos a hullámhosszal, akkor a hullám jelentősen behatol (elhajlik) az árnyéktérbe. Még jelentősebb az elhajlás, ha a rés mérete sokkal kisebb a hullámhossznál, mert ekkor a rés pontforrásként viselkedik.



9. ábra Hullámrefrakció és hullámdiffrakció a kikötő bejáratnál (Google Earth, Siófok)



10. ábra Hullámrefrakció és hullámdiffrakció a kikötő bejáratnál (Google Earth, Siófok)

Kikötők közvetlen környezetében, kikötők belsejében előfordulhat **állóhullám** kialakulása is. Általában egymással szemben haladó egyenlő frekvenciájú és amplitúdójú hullámok interferenciájakor létrejövő jelenség, amikor a szabályosan váltakozó hullámhegyek- és völgyek helyben maradnak. Ilyenkor sajátos, a haladó

hullámtól különböző, állandósult hullámalakzatok jönnek létre, amelyekben a hullámtér egész tartománya azonos fázisban mozog, csak az amplitúdó változik helyről-helyre.

Ha egymástól jól megkülönböztethető irányból érkeznek hullámfrontok és összetalálkoznak, azt nevezzük **merőleges hullámfrontnak**.

#### 4. HIDRODINAMIKAI MODELLEZÉS

A kétdimenziós hidrodinamikai modell lehetővé teszi a Balaton meder és parti sávot érintő elképzelések hatásainak vizsgálatát, mely alatt a vízszintek, vízmélységek és sebességeloszlásokon bekövetkező változások összehasonlító vizsgálatát értjük.

Az alkalmazott szoftver a kétdimenziós sekélyvízi áramlási egyenletek integrált alakjának közelítő megoldásával dolgozik. A kétdimenziós matematikai áramlás modellel történő numerikus megoldás során a modellt az áramlást leíró jellemző közül a vízmélység ( $h$ , [m]), illetve vízszint ( $Z$ , [mBf]), valamint a fajlagos vízhozam két, egymásra merőleges vízszintes irányú összetevőjét ( $p$ ,  $q$ , [ $m^2/s$ ]) számítja ki. A modell a következő áramlásra ható erőket veszi figyelembe:

- nehézségi erő,
- tehetetlenségi erők.
- hidraulikai – (Manning-féle) mederellenállás.

Az áramlást a Reynolds átlagolt sekélyvízi egyenletek írják le:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_A u dA + \oint_S (f_{n_x} + g_{n_y}) dS = \int_A s dA$$

ahol  $t$  – idő

$A$  és  $S$  – ellenőrző térfogat területe és pereme

$n$  ( $n_x$ ,  $n_y$ ) – a peremhez tartozó normálvektorok

Az áramlást leíró jellemzőket a következő vektor tartalmazza:

$$u = \begin{bmatrix} h \\ p \\ q \end{bmatrix}$$

ahol  $h$  – vízmélység

$q$  ( $p, q$ ) – fajlagos vízhozam vízszintes összetevői

A fluxust leíró vektorok  $x$  és  $y$  irányban  $f$  és  $g$  a következőképpen adhatók meg:

$$[f \quad g] = \begin{bmatrix} p & q \\ \frac{p^2}{h} + \frac{gh^2}{2} & \frac{pq}{h} \\ \frac{pq}{h} & \frac{q^2}{h} + \frac{gh^2}{2} \end{bmatrix}$$

A fenékesést leíró tagokat a következő mátrix adja meg:

$$[f_b \quad g_b] = -gz_b \left( \frac{z_b}{2} - \eta \right) \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

ahol  $g$  – nehézségi gyorsulás  
 $\rho$  – víz sűrűsége  
 $Z$  – fenékszint  
 $\eta$  – vízszint

A forrástagban a vízfelszín esés és a fenék-csúsztatófeszültség hatását összegezzük ( $\tau_b : (\tau_{bx}, \tau_{by})$ ).

$$s = \begin{bmatrix} 0 \\ -gh \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_{bx}}{\rho} \\ -gh \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{bmatrix}$$

A fenék-csúsztatófeszültséget kifejező tag a Manning-féle érdességi együtthatóval kifejezve az alábbi alakot ölti:

$$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = \rho C_f \sqrt{U^2 + V^2}$$

és

$$C_f = \frac{gn^2}{h^{1/3}}$$

ahol  $n$  - a Manning-féle érdességi tényező.

A vizsgált területet a partvonalhoz és a meder változékonyságához igazodó strukturálatlan háromszög rácshálóval fedtük le. A strukturálatlan rácsháló előnye, hogy igazítható bonyolult geometriai formákhoz és helyileg választható a felbontása, így a kikötő területe finomabb felbontással leírható, míg attól távolodva durvíthatjuk a rácshálót a számítás gyorsítása érdekében.

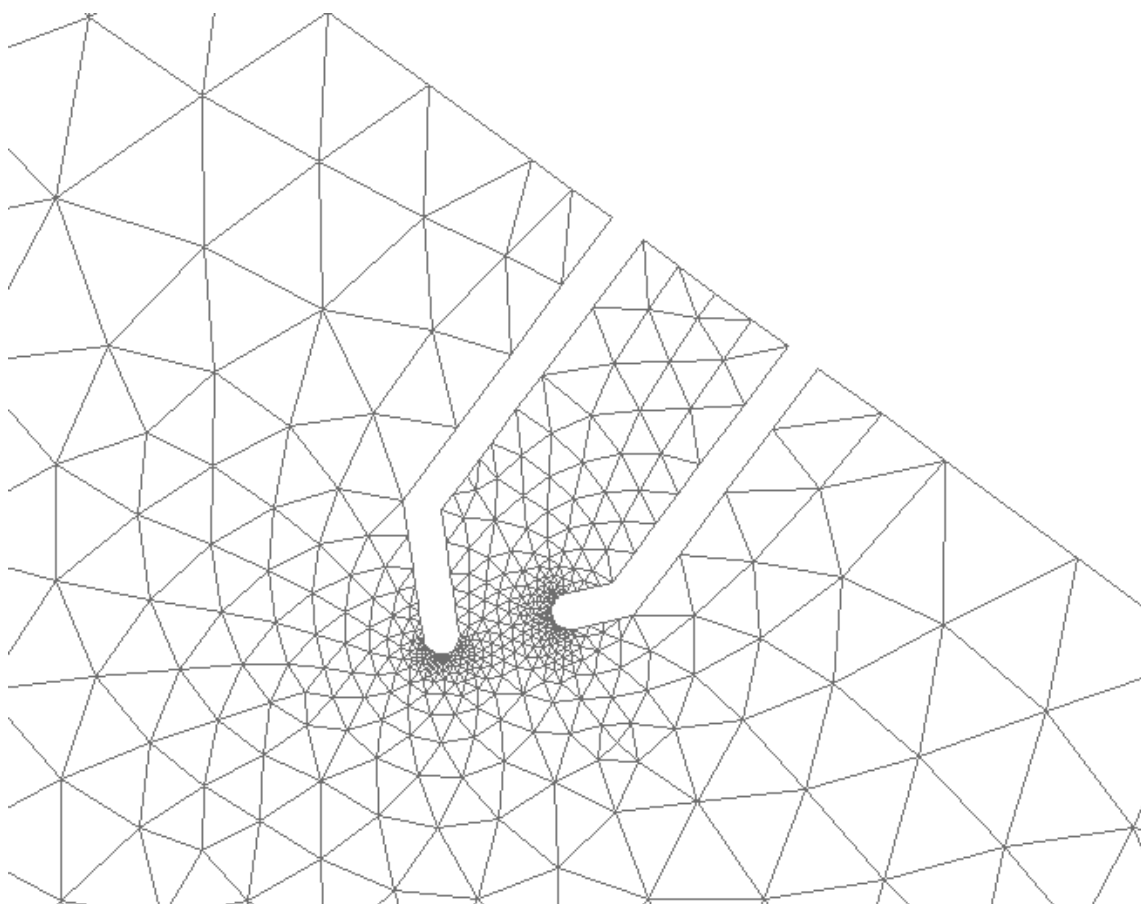
A modell az előzőekben vázolt alapegyenleteket ezeknek a rácshálóknak pontjaiban oldja meg véges térfogat módszerrel. Az ellenőrző térfogatra felírt áramlási egyenlet diszkretizált alakja:

$$A_i \frac{\partial u_i}{\partial t} + \sum_{e \in \dots} (\hat{f}_e n_{e,x} \Delta y_e + \hat{g}_e n_{e,x} \Delta x_e) = A_i S_i$$

ahol  $e$  –  $i$  cella egy peremét jelöli és  $\Delta x_e$  és  $\Delta y_e$  annak méretei  
 $u_i$  – a cella átlagos értékei

A modell az  $f$  és  $g$  fluxusokat a cellaoldalakra számítja. A permanens áramkép számítása az időfüggő áramlásszámítással történik, az explicit időlépések során eljutott konvergált megoldásig tart.





12. ábra Rácsháló felbontása a tervezett kikötő környezetében

#### 4.1 Kalibrálás

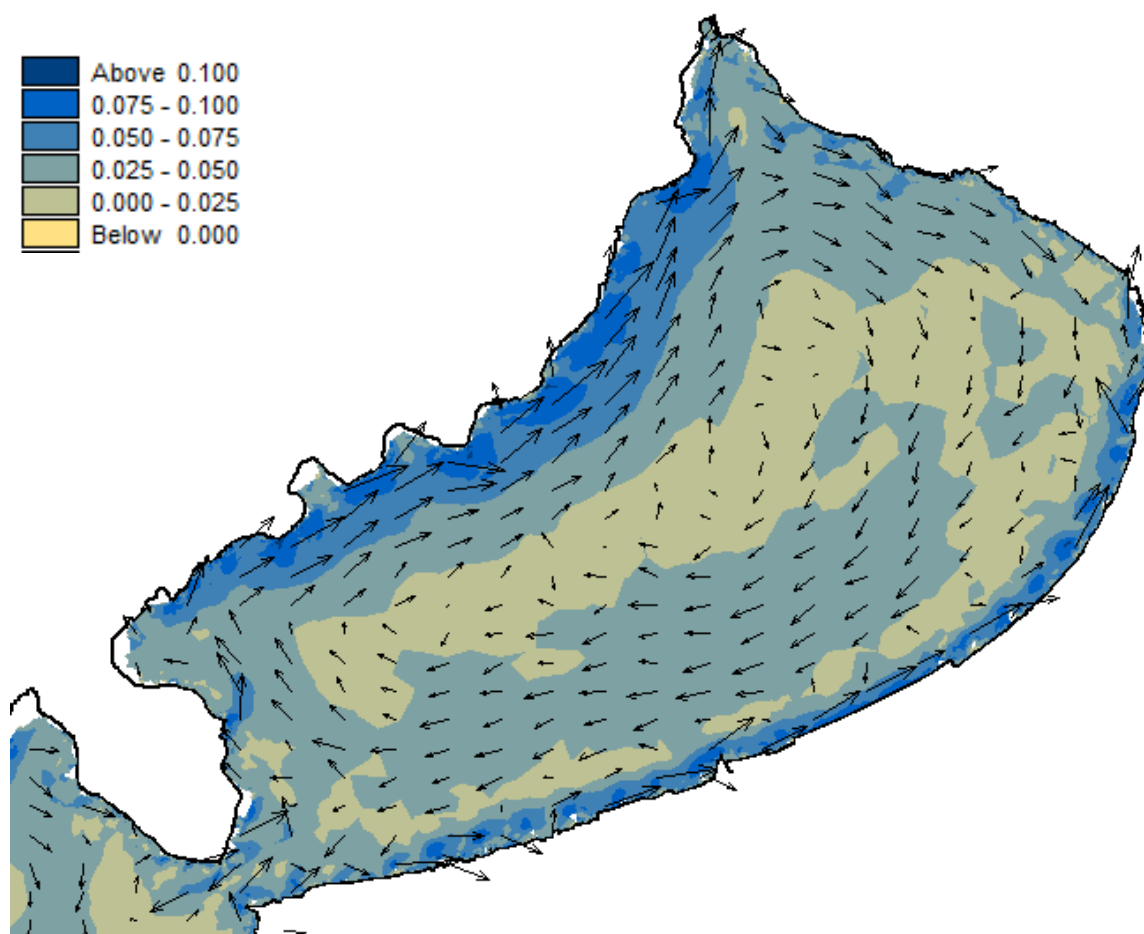
A modell több olyan közvetlenül nem mérhető paramétert - mederfenék érdessége, vízfelszín és szárazföld érdessége - tartalmaz, melyet kalibrálni szükséges. A hidrodinamikai modell alkalmasságának igazolása a vízszint-ingadozásokon keresztül lehetséges. Mért adatok hiányában tárgyi modellt korábbi munka során megrendelt BME kétdimenziós modell dokumentáció [1] keleti medence áramlásaihoz kalibráltuk.

A vizsgálatokhoz a mértékadó szelek nagyságára és irányára van szükség, mely a szélrózsából származtatható. A modellezéshez az egyes irányokban mértékadó, nem szélsőséges nagyságú szeleket választottunk:

- DNy-i (225 °) 8 m/s (kalibráláshoz és vizsgálathoz)
- É-ÉNy-i (330°) 10 m/s (csak vizsgálathoz)
- Ny-DNy-i (255°) 6 m/s (csak kalibráláshoz)

## 5. MODELLEREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

### 5.1 Balaton K-i medence áramképe

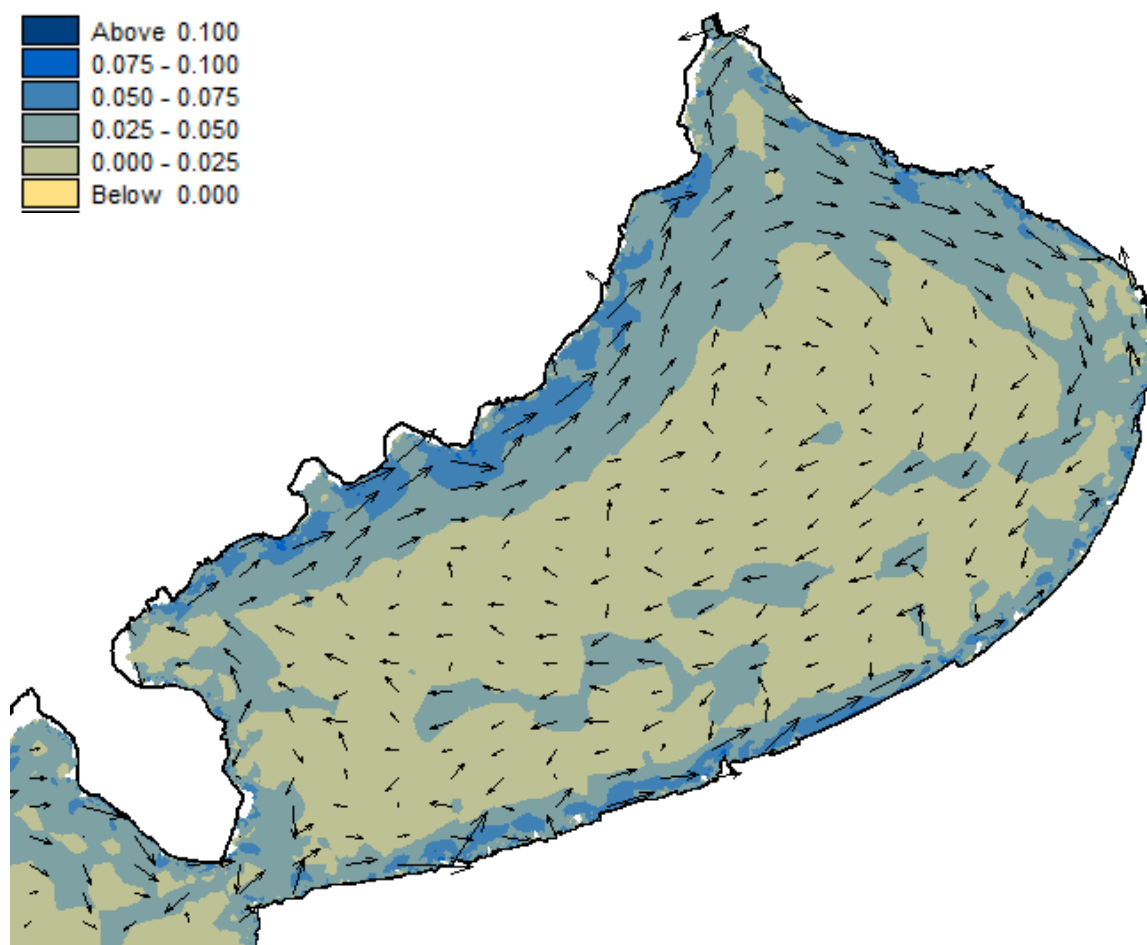


13. ábra K-i medence modellezett áramképe 225 °-os 8 m/s széliránynál

A DNy-i szél nagyjából párhuzamos a Balaton hossz-tengelyével (így a partokkal is), az így keltett hullámok a hosszúkásabb alakú nyugati medencében K-ÉK-i irányba haladnak mindkét part mentén. Amikor a hullámok elérik a Tihanyi-szorost a refrakció és diffrakció miatt megváltozik terjedési irányuk, ezért a K-i medencében széttartó hullámfrontok a jellemzőek. Az északi és déli part menti áramlások Balatonaligánál szembe találkoznak egymással, így az áramlás mindkét irányból visszafordul Ny-DNy felé. Ez létrehoz a K-i medence közepén egy cirkulációt.

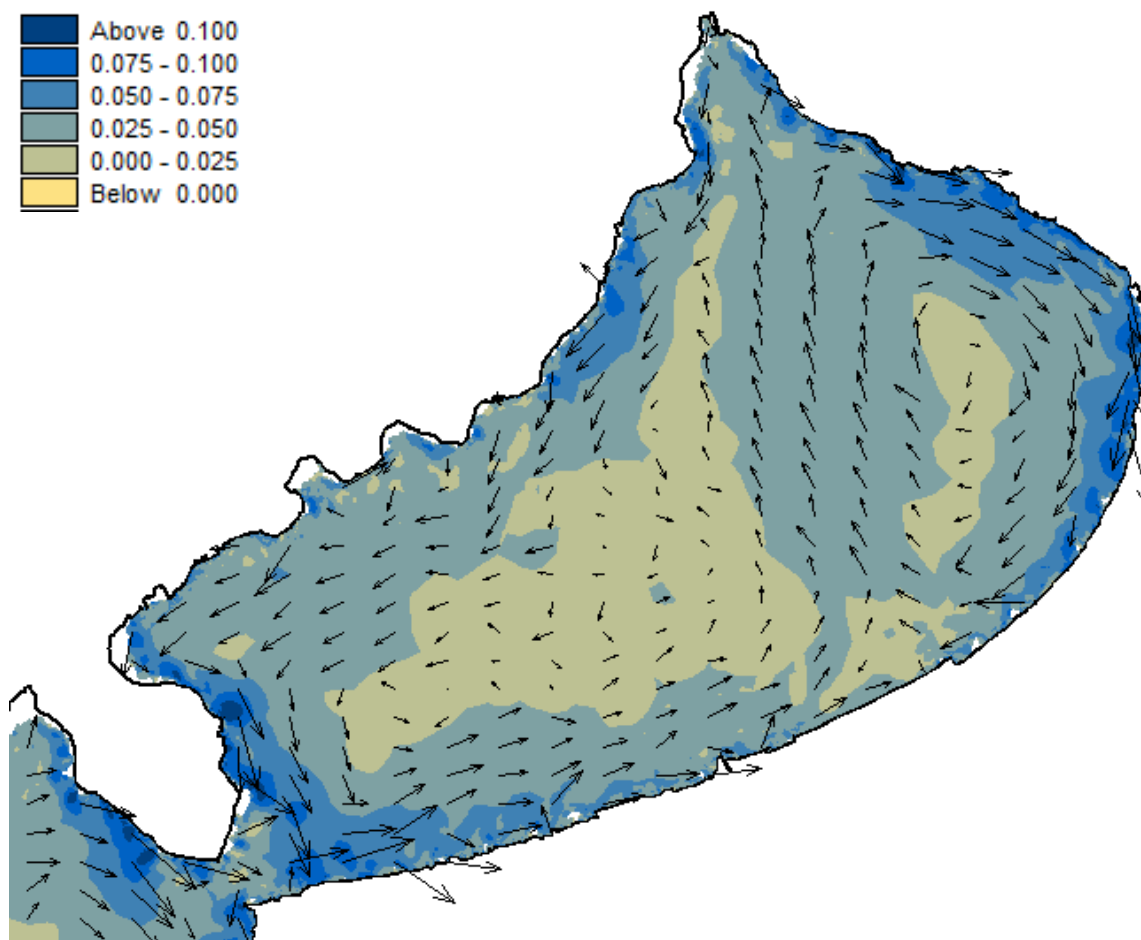
A legnagyobb sebességek a partközelen alakulnak ki, ahol a mederdomborzat miatt a legkisebb az átlagos vízmélység.





14. ábra K-i medence modellezett áramképe 255 °-os 6 m/s széliránynál

Közel nyugati széljárásnál a part menti áramlások hasonlóak a DNy-i viszonyokhoz, de a K-i medence közepén kicsit zavartabb az áramlás. Kb. 3 forgó alakul ki Balatonfüred, Alsóörs és Zamárdi térségében.



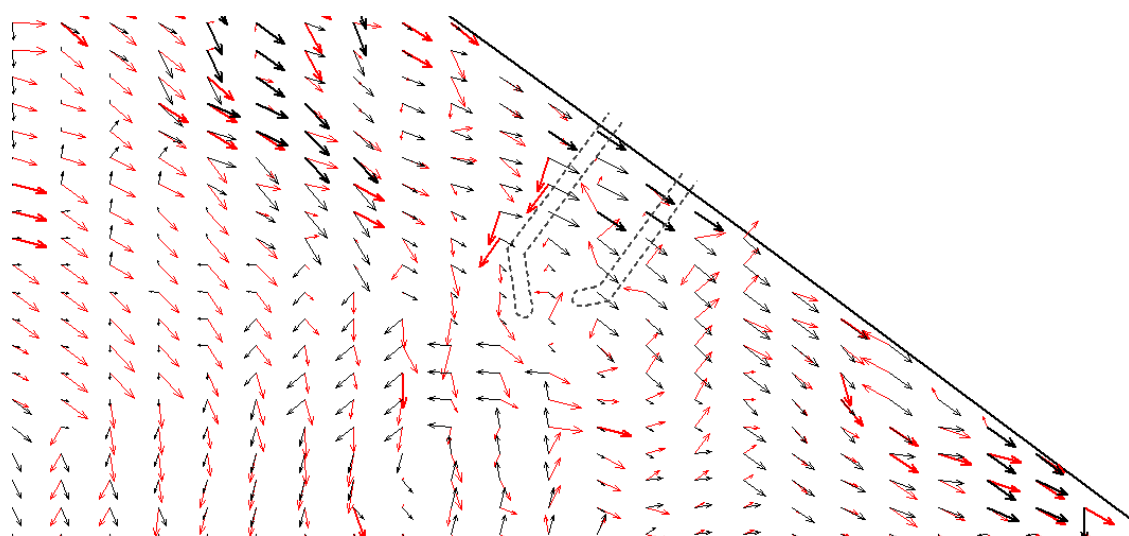
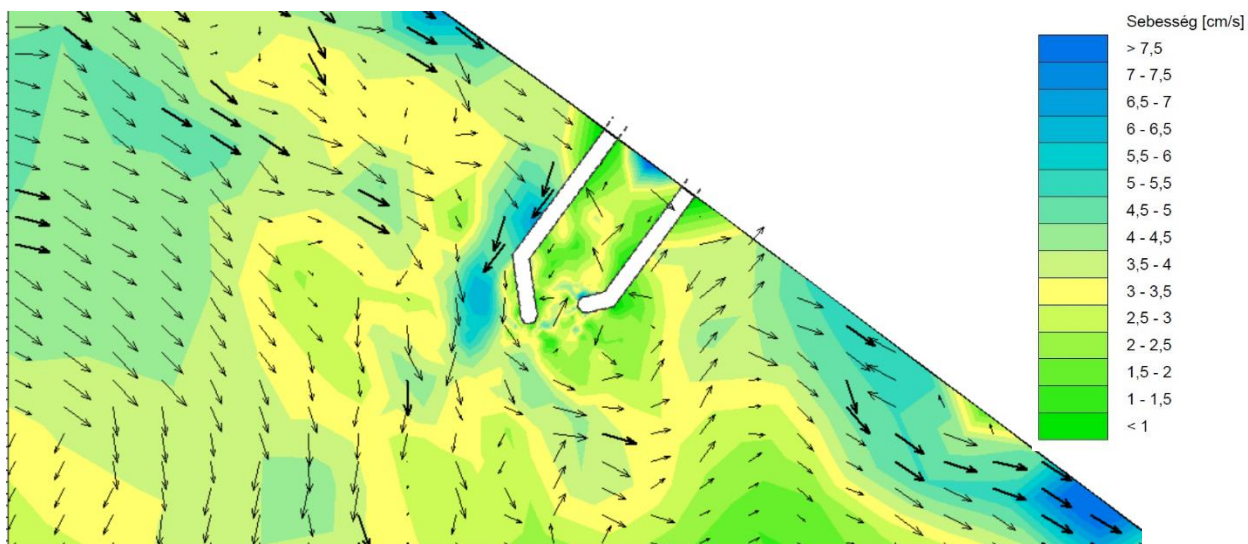
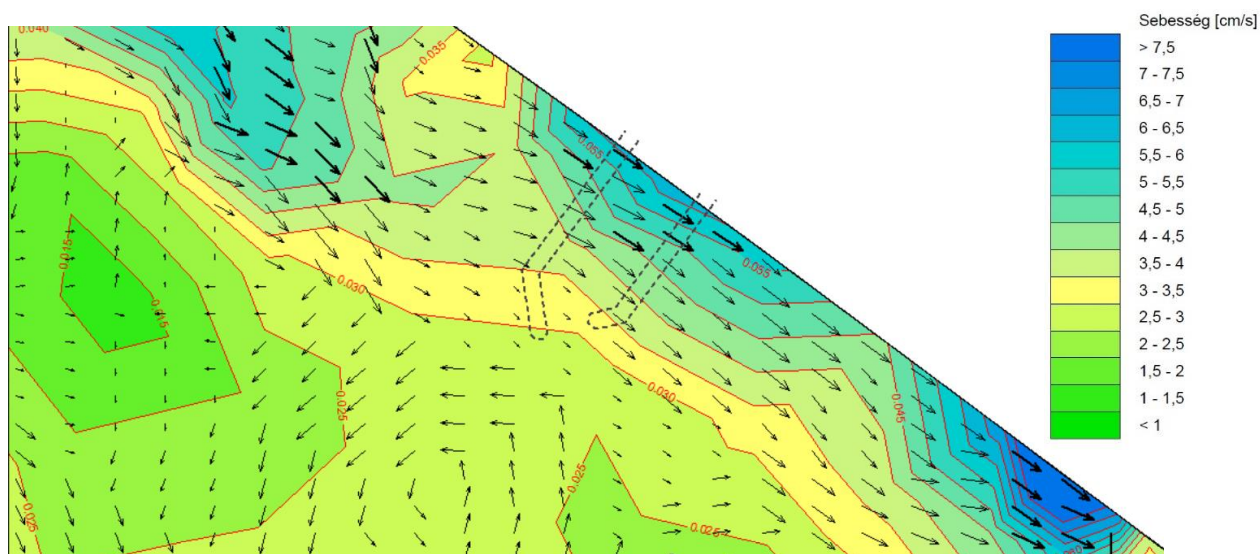
15. ábra K-i medence modellezett áramképe 330 °-os 10 m/s széliránynál

Az É-ÉNy-i szél a leányékölt északi part mentén is kissé nagyobb áramlást kelt: a Tihanyi-félszigettől keletre egy, az óramutató járásával ellentétes irányú forgó kialakulása látható. Az északi parton az áramlás DNy-i, a keleti part mentén D-i, a déli parton a Tihanyi-szorostól Zamárdiig K-i, Balatonaligától Zamárdiig DNy-i irányba halad. Egy másik forgó alakul ki Balatonkenese térségében, annak köszönhetően, hogy Zamárdinál találkoznak az egymással ellentétes áramlások és a hullámrefrakció miatt az áramlás széttartó lesz.

A legnagyobb sebességek a Tihanyi-félsziget keleti partján valamint a Balatonkenese – Balatonvilágos partszakaszon alakulnak ki. Ez az áramlás azonban Balatonakarattyán a vizsgálatunk helyszínén is csak a 0.075-0.1 m/s tartományban, azaz 0.36 km/h sebesség alatt marad.

## 5.2 Tervezett kikötő környezetének áramképe

### 5.2.1 DNY-i-szél



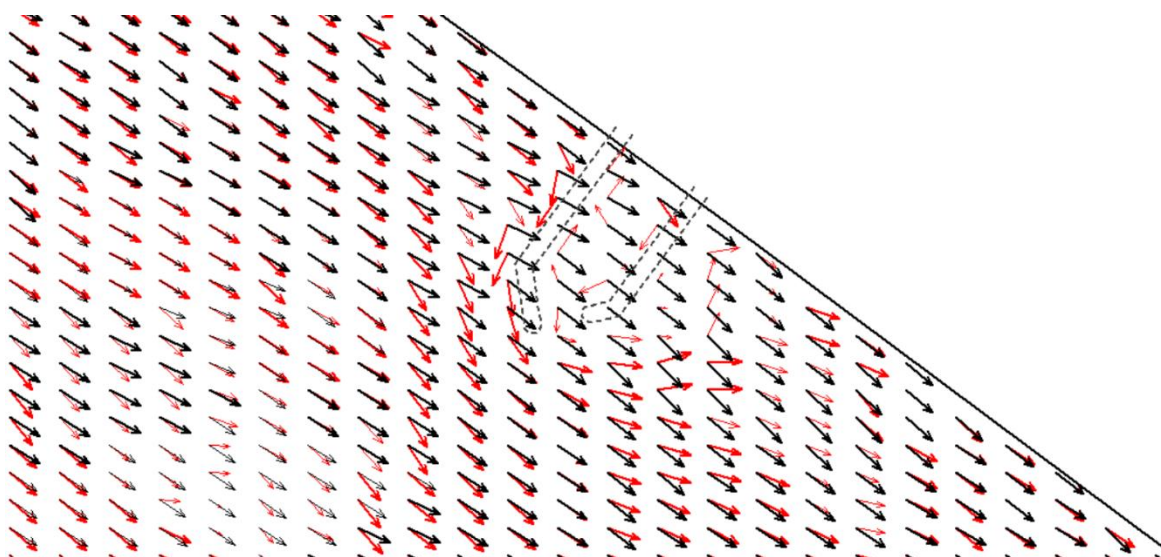
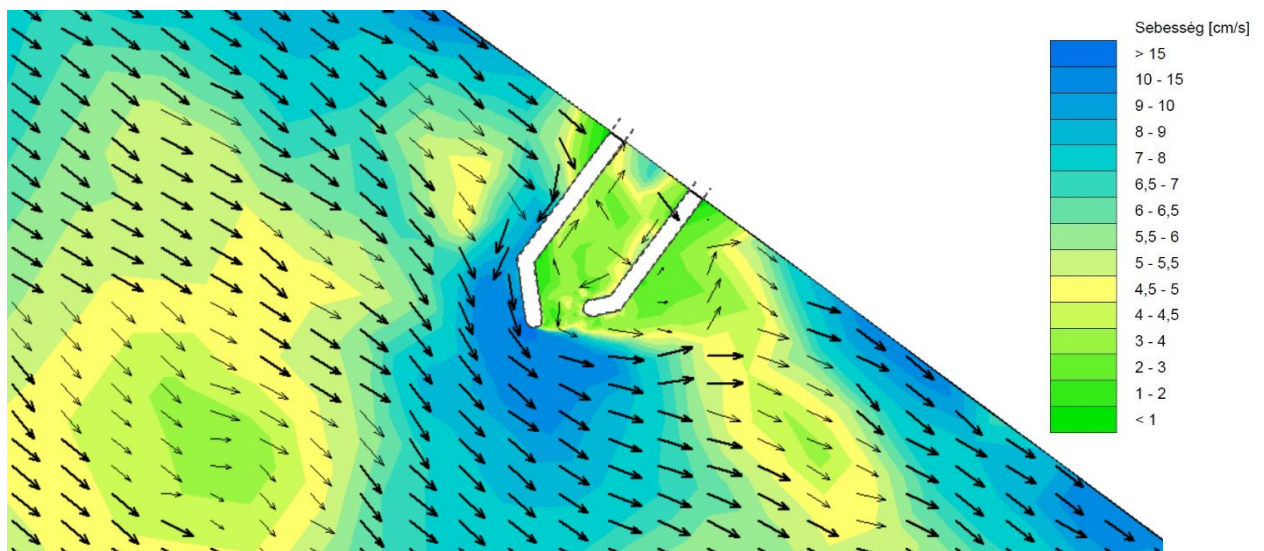
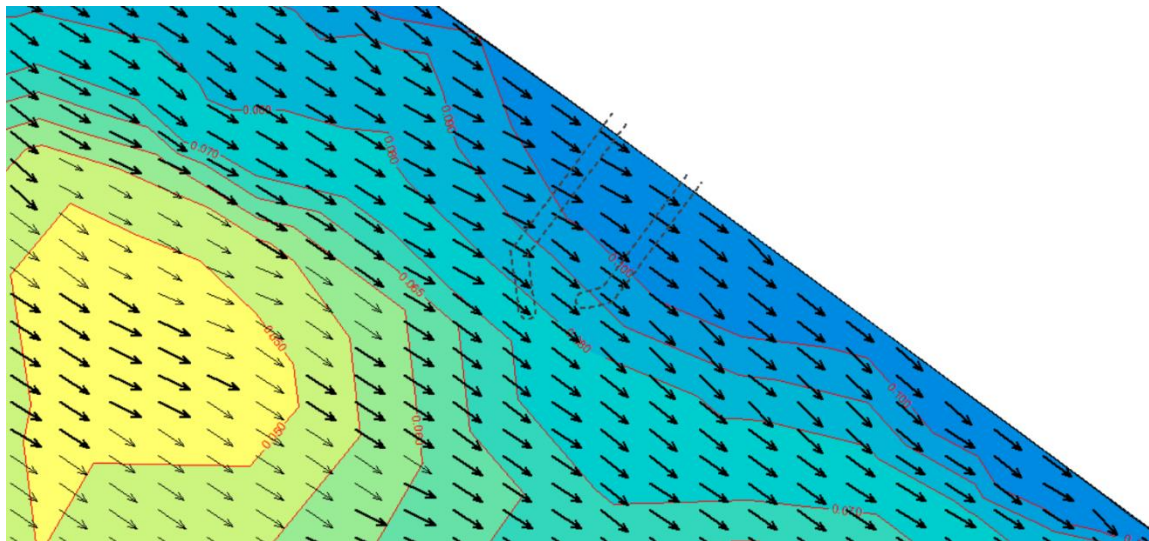
16. ábra Tervezett kikötő környezetének áramkép DNY-i (225°) szélnél:  
 fent: áramkép kikötő nélkül, középen: áramkép tervezett kikötővel, alul: sebességvektorok változása  
 (fekete vektorok – kikötő nélküli áramkép, piros vektor – tervezett kikötővel kialakuló áramkép)

Látható, hogy a jelen állapotban a szél keltette hullámzás - áramlás – a parttal párhuzamosan a part mentén halad D-i irányba. Ebben a parti sávban alakulnak ki a legnagyobb - max. 10 cm/s - sebességek is. A parttól távolodva lokálisan kőröző áramlások alakulnak ki.

Ebbe az áramlásba kerülne bele a tervezett kikötő É-i mólószára közel merőlegesen. Emiatt az áramlás a mólószárral párhuzamossá válik és az északi mólószár mellett felgyorsul. A tervezett kikötő déli részén az áramlás visszaáll a parttal párhuzamossá, a korábbi e helyen tapasztalat cirkulációk pedig megszűnni látszik.

Az áramlás erőssége mindkét esetben közel azonos helyeken a legnagyobb.

## 5.2.2 ÉNy-i szél



17. ábra Tervezett kikötő környezetének áramképe ÉNy-i (330°) szélnél:  
 fent: áramkép kikötő nélkül, középen: áramkép tervezett kikötővel, alul: sebességvektorok változása  
 (fekete vektorok – kikötő nélküli áramkép, piros vektor – tervezett kikötővel kialakuló áramkép)

Alapvetően az É-ÉNy-i szél az uralkodó szélirány, a nagyobb meghajtási hosszak északi szélénél jelentkeznek. Az É-ÉNy-i szeleknél a part mentén az áramlás sebessége nagyobb, mint a DNy-i szél esetén. Az áramlás iránya D-i, szintén a parttal párhuzamos. A DNy-i szélénél tapasztalt parttól távolabbi köröző áramlás nem tapasztalható. Az áramlási sebességek a parttól távolodva csökkennek.

A tervezett kikötő hatásaként az áramlási sebességek a kikötő északi mólószárával párhuzamossá válnak, de a kikötő ezen kívül jelentős változást az áramképben nem okoz. A maximális sebességek az északi mólószár csúcsánál alakulnak ki. A déli mólószár a part menti áramlást kissé lassítja.

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK

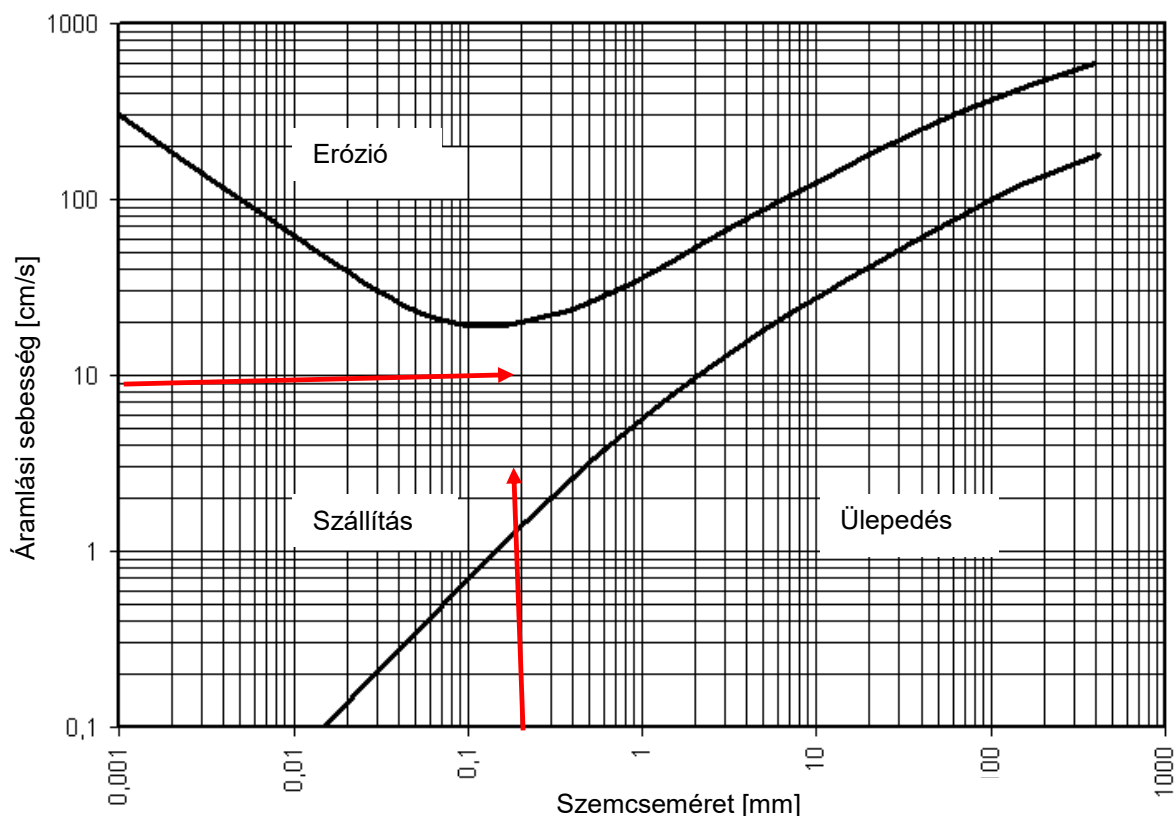
Az üledékvándorlás szempontjából mértékadó szeles időszakokban a hullámozás keltette függőleges átkeveredés sekély tavakban olyan erős, hogy a lebegtetett iszap töménységének eloszlása a mélység mentén közel egyenletesnek feltételezhető és így a nagy időléptékű transzportfolyamatok a mélységátlagolt áramképek alapján lennének becsülhetők [1], ehhez azonban függély menti sebességmérésekre és háromdimenziós áramlástanai modellezésre lenne szükség. Az üledékvándorlás vizsgálata a környéken lévő strandokra várható hatások ismeretének érdekében fontos.

Az üledék lerakódását és elhordását alapvetően a tó vizének áramlási rendszere határozza meg, melyre a kétdimenziós hidrodinamikai modell eredménye is alkalmas. A kikötő tervezett helyén végzett talajvizsgálati jelentés szerint a felső 2,5 – 4,2 m között a szemcse összetétele szerint iszap jelentős homoktartalommal található. Tehát a szemcseméret 0,002 – 0,2 mm-re tehető.

Szemcse-csoport	Szemcse-frakció	Jelölés	Szemcseméret (mm)
Nagyon durva	Kötömb	LBo	> 630
	Görgeteg	Bo	200 – 630
	Macskakő	Co	63 – 200
Durva	Kavicsok	Gr	2,0 – 63
	Durva kavics	CGr	20 – 63
	Közepes kavics	MGr	6,3 – 20
	Apró kavics	FGr	2,0 – 6,3
	Homokok	Sa	0,063 – 2,0
	Durva homok	CSa	0,63 – 2,0
	Közepes homok	MSa	0,2 – 0,63
Finom	Finom homok	FSa	0,063 – 0,2
	Iszapok	Si	0,002 – 0,063
	Durva iszap	CSi	0,02 – 0,063
	Közepes iszap	MSi	0,0063 – 0,02
	Finom iszap	FSi	0,002 – 0,0063
	Agyag	CI	≤ 0,002

18. ábra Talajok osztályozása

A Hjulström-féle diagram megmutatja, hogy a víz áramlási sebességétől függően hogyan alakul a különböző méretű szemcsék eróziója, szállítása és ülepedése.



19. ábra Hjulström-féle diagram

A sebességek a megadott szélességeket (6 – 10 m/s) alapján 1 – 10 cm/s-es tartományban alakulnak mindkét szélirány esetén, a szemcseátmérő a 0,002 – 0,2 mm-es tartományra becsülhető. A Hjulström diagram szerint ez az üledék szállítását jelenti, vagyis az üledék részecskék folyamatos mozgásban vannak. A legkedvezőtlenebb helyzetben is a sebesség még a szállítási görbe határán mozog.

Várhatóan kismértékű kiülepedés jelentkezni fog közvetlenül a mólószár parti csatlakozásánál, de a szomszédos strandokon feliszapolódás a kikötő hatására nem várható. Az üledékszállítás az áramlással együtt folyamatos, a részecskék folyamatos mozgásban vannak.

Továbbá kijelenthetjük, hogy a tervezett kőmóló hatásai az áramlásra és üledékdinamikára lokálisak és nem számottevőek. A kikötő bejáratban és kikötőben kialakuló áramképek a ki-és behajózás szempontjából kedvezőnek tűnnek.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] BME: A Balatonfüredi Yacht Club tervezett kikötőbővítésének áramlástani és üledékdinamikai hatásai, Kutatási jelentés, 2017
- [2] Török G. Numerikus hullámzásmodell alkalmazása a Balatonra, BME TDK Konferencia, 2009
- [3] BME, Hidraulika II., HEFOP jegyzet