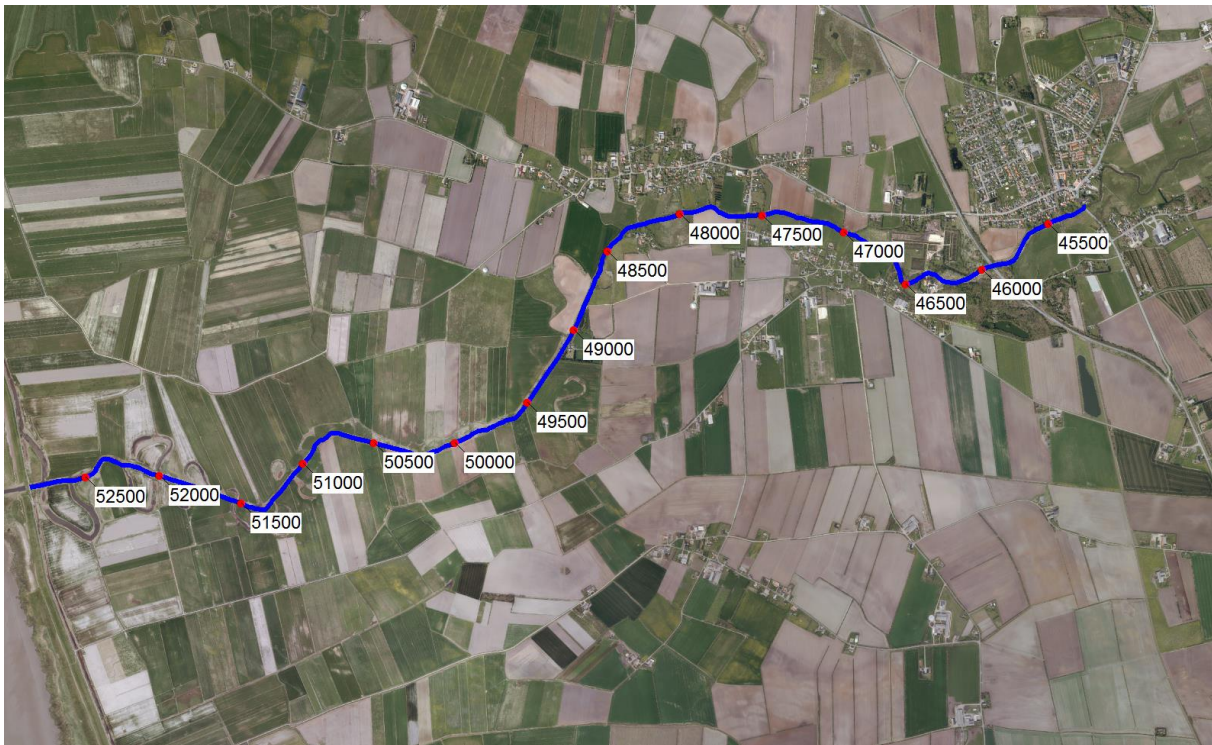


Notat

Projekt navn	Kongeå – Spor 1 og 2
Kunde	Esbjerg Kommune
Projektleder	Christian Pedersen
Projekt nummer	1321900147
Dokument ID	Teknisk Notat_Dimensioneringsforudsætninger.docx
Til	Ole Juul Pedersen
Udarbejdet af	Anders Lund Jensen
Kvalitetssikret af	Klaus Schlüsen og Mathias Jepsen
Godkendt af	Rasmus Bang
Version	1
Versionsdato	04-09-2019
Første udgivelsesdato	04-09-2019

Baggrund

Nærværende notat redegør for beregningsforudsætninger for reguleringsforslag og dimensionering af sandfang i Kongeåen. Projektstrækningen udgøres af Kongeå fra Ribe Landevej til Kongeåslusen inkl. opmålt del af Vadehavskanalen. Der opsættes en hydraulisk model i MIKE11 for hele projektstrækningen, se oversigtskort på Figur 1.



Figur 1. Oversigtskort over projektstrækning.

Karakteristiske afstrømninger

Der benyttes karakteristiske afstrømninger for Kongeå ved Vilslev Spang (mstnr. 36.04) for perioden 1990-2015), da disse værdier er anvendt som projektgrundlag for omløbsstryget ved Jedsted Mølle.

Afstrømningsmålingerne for Kongeå ved Konge Bro benyttes dog ved fastlæggelse af karakteristiske Manningtal, da stationen fortsat er i drift. Der er ingen nævneværdig forskel på de karakteristiske afstrømninger for Kongeå ved Vilslev Spang og Konge Bro.

Der benyttes følgende karakteristiske afstrømninger:

Karakteristisk afstrømning	Værdi (l/s/km ²)
Minimum i måleperioden	4,1
Medianminimum	6,6
Sommermedian	9,5
Årsmedian	13,9
Vintermedian	18,4
Årsmiddel	16,1
Medianmaksimum	51,8
10 års maksimum	76,4

Opland

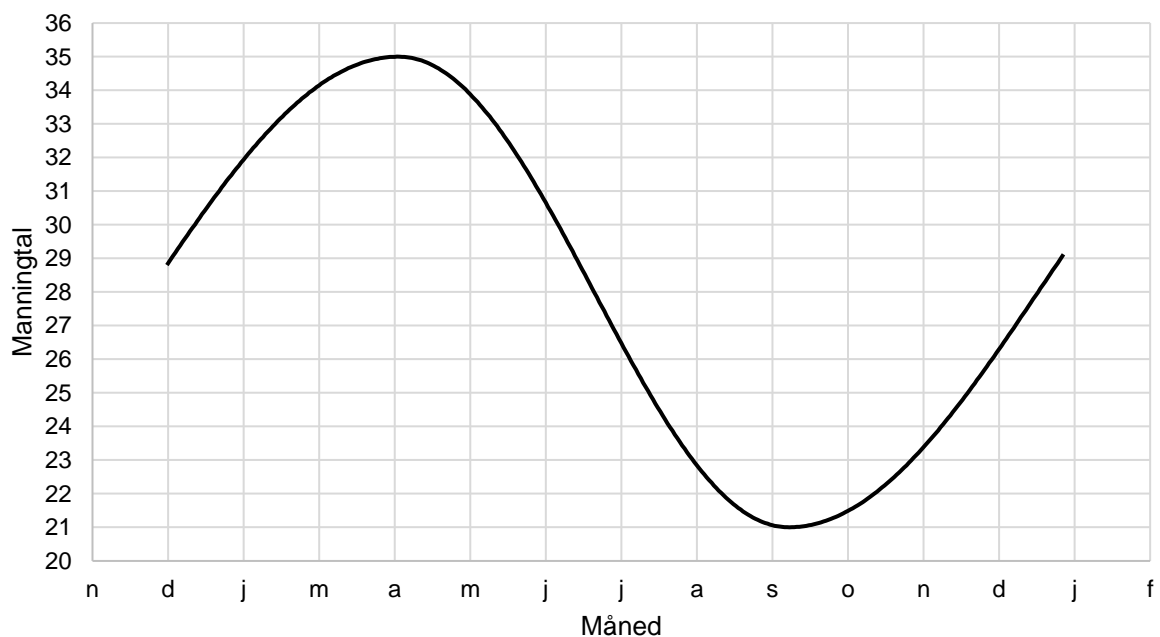
Der benyttes følgende oplandstabel for Kongeå på projektstrækningen:

Strækning	Opland (km ²)
Ribe Landevej	416
Distribueret opland Ribe Landevej – Vilslev Spang	5
Farbro Bæk	6
Distribueret opland Vilslev Spang – Kongeåslusen	22
Totalt opland	449

Manningtal

Baseret på vandføringsdata for Kongeå ved Konge Bro (mstnr. 36.01) og vandstandsdata for Kongeå ved Gredstedbro (mstnr. 36.17) samt opmåling af Kongeå fra 2019 er der foretaget en Manningtalbestemmelse gældende for strækningen umiddelbart nedstrøms Gredstedbro, der vurderes at være repræsentativ for hele projektstrækningen. Der er kun anvendt data for perioden efter ibrugtagelse af omløbsstryget ved Jedsted Mølle (4. maj 2017).

Det vurderes på baggrund af Manningtalbestemmelsen, at det karakteristiske vintermanningtal og sommermanningtal for projektstrækningen er henholdsvis 35 og 21 med maksimum ultimo marts og minimum primo september. Det giver en årsvariation som angivet på Figur 2.

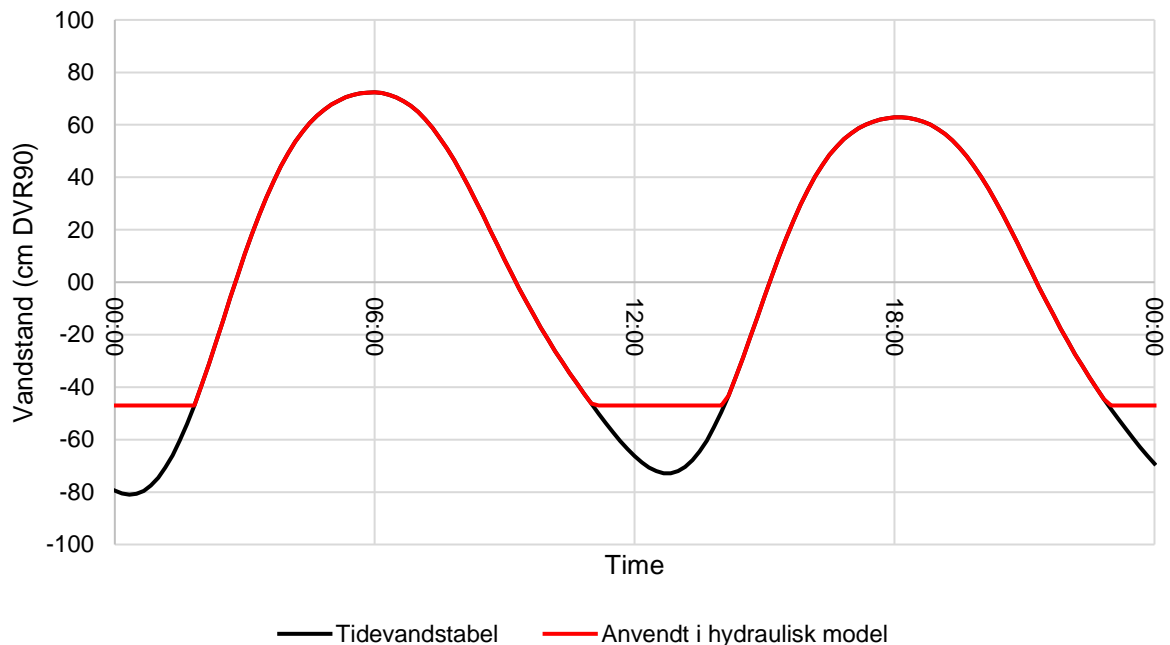


Figur 2. Årsvariation for Manningtal i Kongeå.

Vandstand ved Kongeåslusen

Der benyttes et typisk tidevandsforløb (uafhængig af vindforhold) for Vadehavet i de hydrauliske beregninger for at kunne vurdere effekten af specielt lavvande i Vadehavet. Baseret på tidevandstabellen for Ribe Kammersluse for året 2019 er det fundet, at mediandøgnmaksimumvandstand er 72 cm og mediandøgnminimum er -80 cm. Det døgn, der er tættest på disse værdier, er d. 12. marts, se Figur 3.

Det laveste punkt i det yderste opmålte profil i Vadehavskanalen er dog kun -47 cm, der således udgør den mindste vandstand, der kan regnes med i den hydrauliske model.



Figur 3. Tidevandsforløb d. 12. marts 2019.

Reguleringsforslag for Kongeå

Der gennemføres hydrauliske beregninger for to reguleringsforslag:

1. Regulativdimensioner fra Vilslev Spang – Kongeåslusen sænket med 0,2 m
2. Regulativdimensioner fra Vilslev Spang – Kongeåslusen sænket med 0,4 m

I begge forslag regnes med gennemløb i alle 5 sluseporte ved Kongeåslusen. Når vandstanden i Vadehavet overstiger vandstanden i Kongeåen, lukkes sluseportene.

Beregningerne for de to reguleringsforslag sammenlignes med de nuværende forhold (regulativdimensioner og opmåling 2019), men kun med 2 sluseporte åbne. Der beregnes vandspejl ved følgende karakteristiske afstrømninger og Manningtal:

1. Medianminimum og Manningtal 21
2. Årsmiddelafstrømning og Manningtal 28 (årsmiddel)
3. Medianmaksimum og Manningtal 35
4. 10 års maksimumafstrømning og Manningtal 35

Der benyttes de samme karakteristiske Manningtal for de nuværende forhold som for de regulerede forhold. Etablering af sandfang kan dog potentielt have en betydning for grødevæksten nedstrøms Vilslev Spang, idet den nuværende sandtransport tilsyneladende slider på vandplanterne og dermed hæmmer grødevæksten. Etablering af sandfang kan således medvirke til en forøget grødemængde og et mindre Manningtal.

Der udarbejdes oversvømmelseskort for følgende karakteristiske afstrømninger:

1. Medianmaksimum og Manningtal 35
2. 10 års maksimumafstrømning og Manningtal 35
3. Medianmaksimum og Manningtal 35 inkl. sluselukning i 1,5 døgn
4. 10 års maksimumafstrømning og Manningtal 35 inkl. sluselukning i 1,5 døgn

Sluselukning i 1,5 døgn svarer til forholdene under stormen Bodil i 2013. Beregningerne med sluselukning vil med al sandsynlighed vise de samme forhold uagtet at vandløbet reguleres eller ej.

Dimensionering af sandfang

Nedenfor vurderes Esbjerg Kommunes foreslåede dimensioner for de 3 sandfang i Kongeå.

Sandfang 1 opstrøms Hovedvej 11

Esbjerg Kommune har vurderet, at sandfang 1 skal have en længde på 100 m, en bundbredde på 20 m og en dybde svarende til nuværende bund minus 1 m. Sandfang 1 skal placeres mellem st. 45.810 og 45.910, se Figur 4. Et eksempel på den nødvendige profiludvidelse af Kongeå på strækningen fremgår af Figur 5. Der er benyttet et skråningsanlæg på 1:1 fra ny sandfangsbund til terræn.



Figur 4. Placering af sandfang 1.

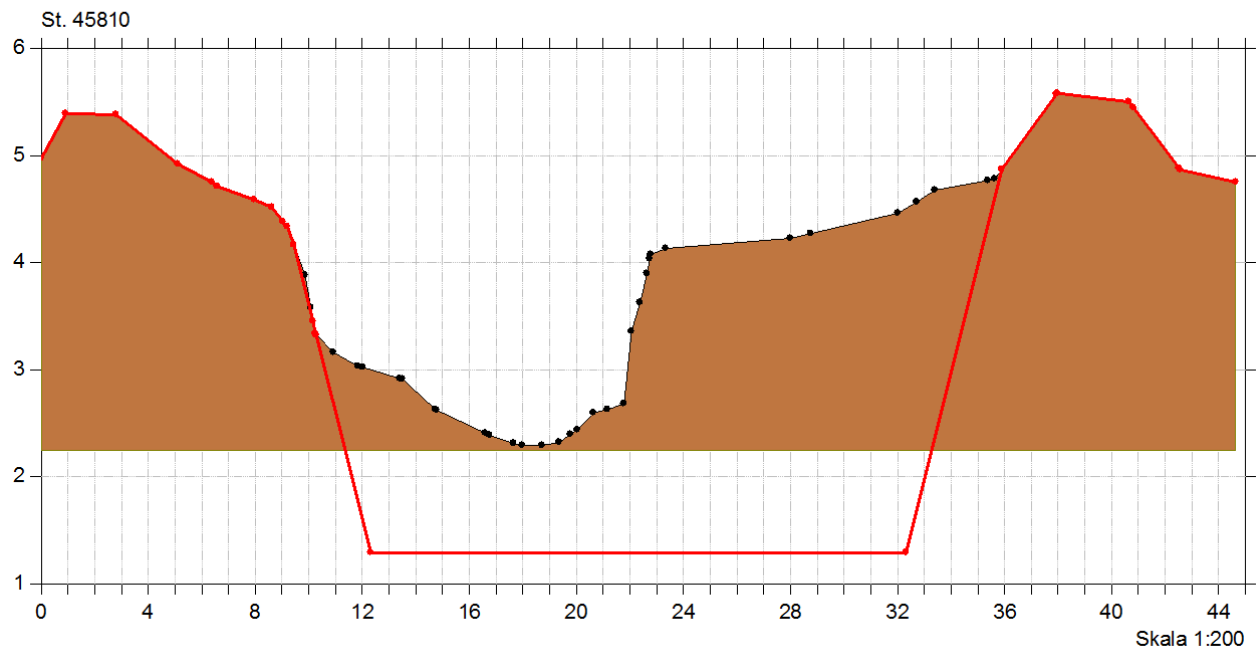
Kongeå Spor 1 og 2

Lodret akse : Kote i m DVR90, skala 1:50

Vandret akse : Afstand i m, skala 1:50

MIKE11 2019 opmåling fra Gredstedbro til Kongeåslusen_til sandfangsdimensionering

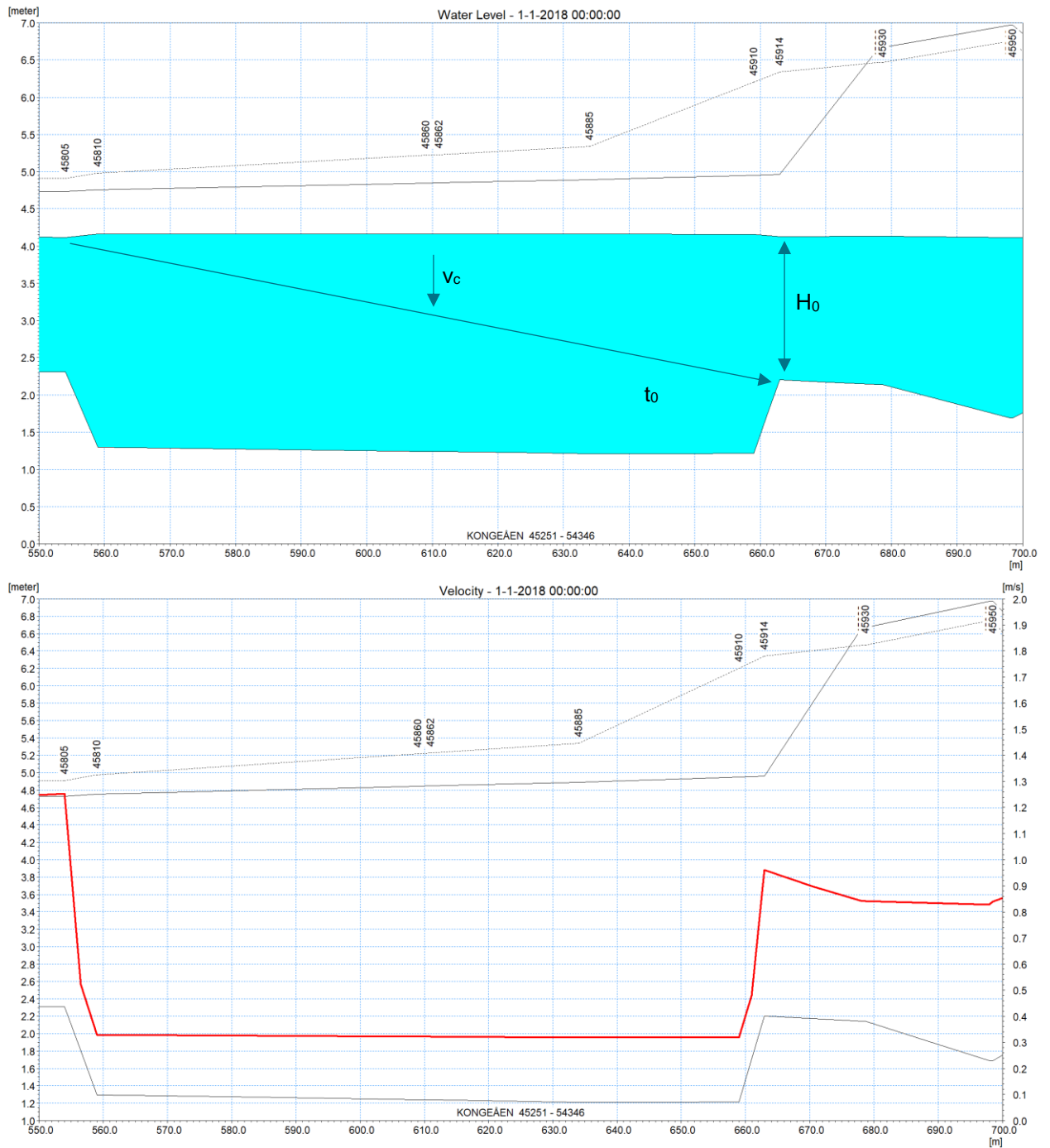
—●— TV P Merged. Sandfang 1
 ■ MIKE11 2019 opmåling fra Gredstedbro til Kongeåslusen_til sandfangsdimensionering



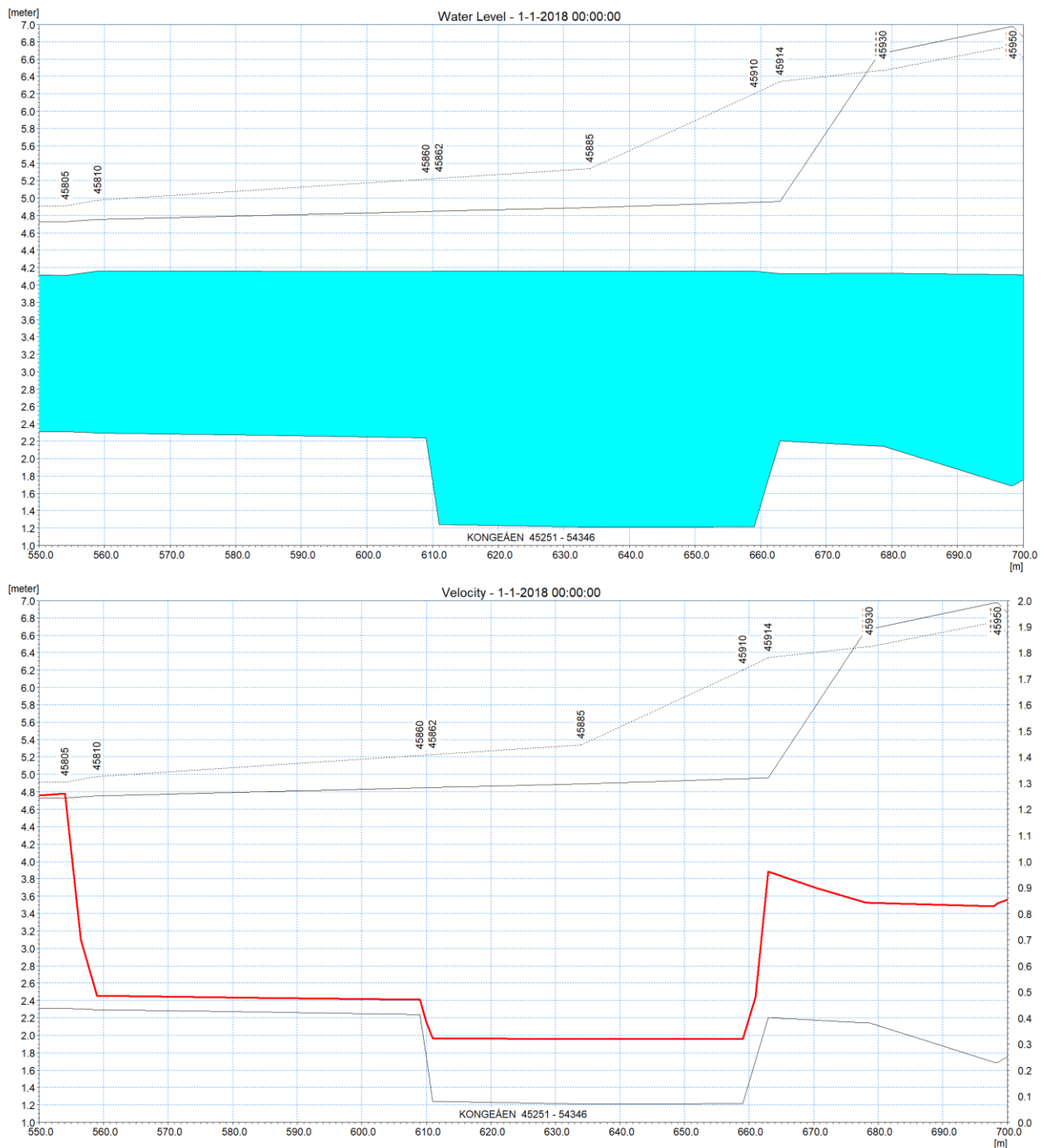
Figur 5. Eksempel på profiludvidelse st. 45.810.

Sandfanget er indbygget i den opsatte hydrauliske model for projektstrækningen. Modellen er kørt med en medianmaksimumafstrømning, da sandfanget skal kunne fungere ved de hændelser, der genererer den største sedimenttransport i vandløbet. Der er ligeledes kørt beregninger for et sandfang, der er halvfylt, dvs. hvor bunden langs de første 50 m af sandfanget (frem til st. 45.860) er i niveau med nuværende bund. Dette skyldes, at sandfanget ligeledes skal kunne fungere, selvom det er delvist fyldt.

På Figur 6 og 7 fremgår beregnet vandstand og gennemsnitlig strømhastighed i sandfang 1 ved henholdsvis tomt sandfang og halvfylt sandfang.



Figur 6. Vandstand og hastighed i sandfang 1 ved tomt sandfang.



Figur 7. Vandstand og hastighed i sandfang 1 ved halvfylt sandfang.

Vandstanden ved udløbet af sandfanget (H_0 jf. Figur 6) bestemmer den højde, som et sandkorn skal nå at falde indenfor den gennemsnitlige opholdstid (t_0 jf. Figur 6), der er i sandfanget. Vanddybden ved udløbet er i begge tilfælde 1,9 m, mens den gennemsnitlige opholdstid er 309 sekunder og 259 sekunder ved henholdsvis tomt og halvfylt sandfang. Dette giver følgende kritiske sedimentationshastigheder (v_c jf. Figur 6) for et sandkorn, der starter i overfladen ved indløbet i sandfanget.

Tomt sandfang: 0,006 m/s

Halvfylt sandfang: 0,007 m/s

Det fremgår heraf, at et halvfylt sandfang ikke fungerer væsentligt dårligere end et tomt sandfang. Ovenstående beregninger er dog under forudsætning af ideelle forhold, dvs. ingen turbulente strømninger og uhindret sedimentation for de enkelte sandkorn. I praksis vil der være turbulente strømninger ved indløb og udløb af sandfanget (overgangszoner), og der bør kun forventes ensformig strømning på dele af strækningen. Dette har ingen betydning for bundtransporteret sand, men stor betydning for det sand, der er suspenderet i vandfasen. Et konservativt bud på længden overgangszonerne er 12,5 m ved indløb og udløb, dvs. samlet 25 m.

Dette giver følgende kritiske sedimentationshastigheder svarende til 75 m effektiv sandfangslængde:

Tomt sandfang: 0,008 m/s
Halvfylt sandfang: 0,010 m/s

Figur 8 angiver målte sedimentationshastigheder for forskellige kornstørrelser i stillestående vand. Det fremgår heraf, at sandkorn i størrelsen 0,15 mm (fint sand = 0,063 – 0,2 mm) har en sedimentationshastighed på 0,013 m/s, og de vil således kunne bundfældes i sandfang 1 under en stor afstrømning.

7.3 Particle fall velocity 161

Table 7.4 Terminal settling velocity of sediment particle in still water (observations)

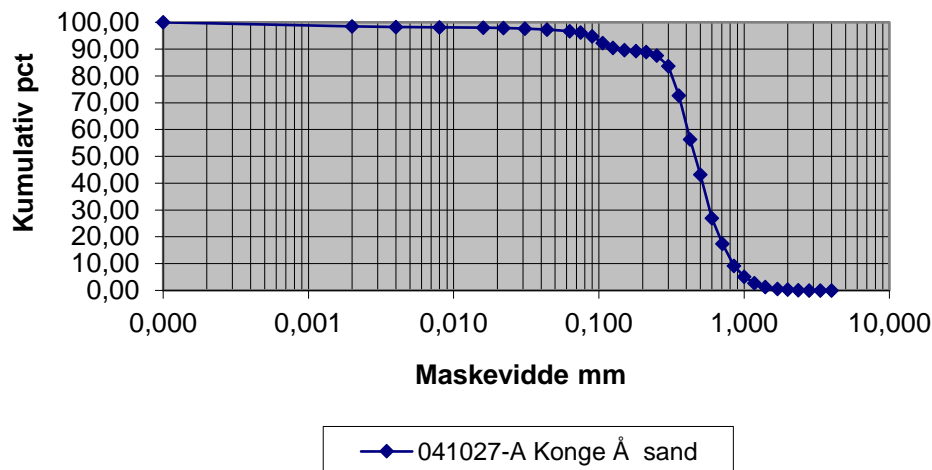
d_s^a (mm) (1)	w_o^a (m/s) (2)	$w_o d_s / \nu$ (3)	C_d^a (4)	Comment (5)
0.089	0.005	0.44	55	Sand grains
0.147	0.013	1.9	15	
0.25	0.028	7.0	6	
0.42	0.050	21	3	
0.76	0.10	75	1.8	
1.8	0.17	304	1.5	

Notes: w_o = terminal fall velocity of single particle in water at 20°C; ^adata from Engelund and Hansen (1972).

Figur 8. Tabel over sedimentationshastighed for naturligt sediment i stillestående vand.

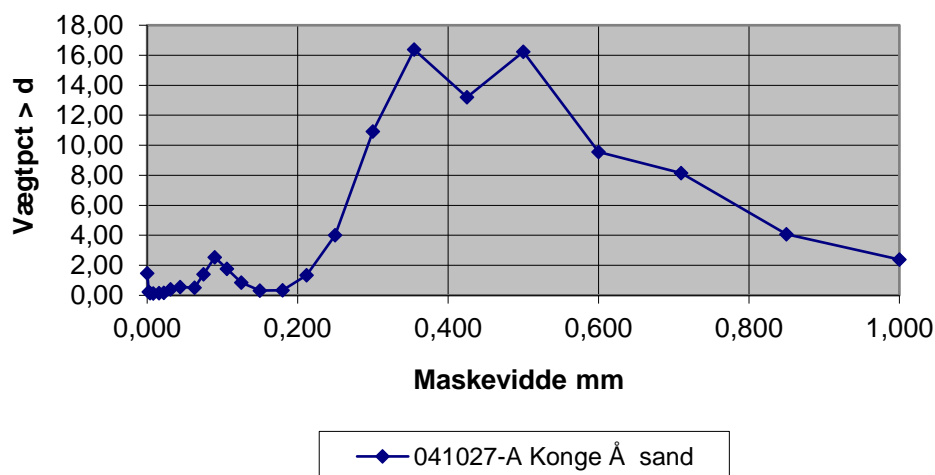
På Figur 9 og 10 fremgår kornstørrelsesfordeling (kumulativ procent og vægtprocent) for bundtransporteret sand i Kongeå nedstrøms Vilslev Spang (Jesper Bartholdy, KU). Det fremgår heraf, at 0,15 mm sand svarer til 90 %-fraktilen af det bundtransporterede sand. Mindst 90 % af det sediment, der transporteres i Kongeå, forventes således at kunne bundfældes i sandfang 1. Den største del af sedimenttransporten udgøres af medium sand (0,2 – 0,63 mm), som vil blive bundfældet i sandfanget.

Konge Å udløb



Figur 9. Kornstørrelsesfordeling (kumulativ procentsats) for bundtransporteret sand i Kongeå nedstrøms Vilslev Spang. Jesper Bartholdy (KU).

Konge Å udløb



Figur 10. Kornstørrelsesfordeling (vægtprocent) for bundtransporteret sand i Kongeå nedstrøms Vilslev Spang. Jesper Bartholdy (KU).

Overordnet vurderes det således, at de foreslåede dimensioner for sandfang 1 er fornuftige i forhold til at bundfælde den type sand, der transporteres langs bunden og evt. suspenderet i vandfasen i Kongeåen ved store afstrømninger. Størstedelen af det fine sand med kornstørrelse <0,15 mm må forventes at blive ført igennem sandfanget ved store afstrømninger.

Betragtninger vedrørende erosion

Etablering af sandfang ændrer sedimentdynamikken i vandløb. Der vil forekomme erosion af bunden opstrøms sandfanget, som dog forventes at aftage efterhånden som sandfanget fyldes med aflejringer. Den største erosionsrisiko vurderes at forekomme nedstrøms sandfanget, hvor vandløbet vil optage materiale svarende til den tiloversblevne transportkapacitet. Risikoen for erosion vurderes at være størst mellem Hovedvej 11 og det nye omløbsstryg ved Jedsted Mølle. Det sediment, der eventuelt eroderes, kan bundfældes i sandfang 2 eller 3.

For at reducere erosionen umiddelbart nedstrøms sandfanget bør der etableres en fast tærskel af sten. Tærsklen kan eventuelt laves med en mindre overhøjde, da sedimentationsdybden i sandfanget således gøres mindre (større effektivitet af sandfanget). Tærsklen må dog ikke virke som en spærring ved lave vandføringer.

Det bør nøje overvejes, om der skal erosionssikres under Hovedvej 11 for at sikre mod sætninger. I forbindelse med etablering af omløbsstryget ved Jedsted Mølle blev det vurderet, at en sænkning af vandløbsbunden til kote 2,55 m (+/- 0,1 m) ikke ville medføre sætninger af betydning. Opmålingen fra 2019 viser, at bunden under Hovedvej 11 er omkring kote 2,14 m nær bropillerne. I forbindelse med sandfangsprojektet kan vejbroen erosionssikres ved at fylde paksten op omkring bropillerne til kote 2,55 m.

Sandfang 2 nedstrøms Vilslev Spang

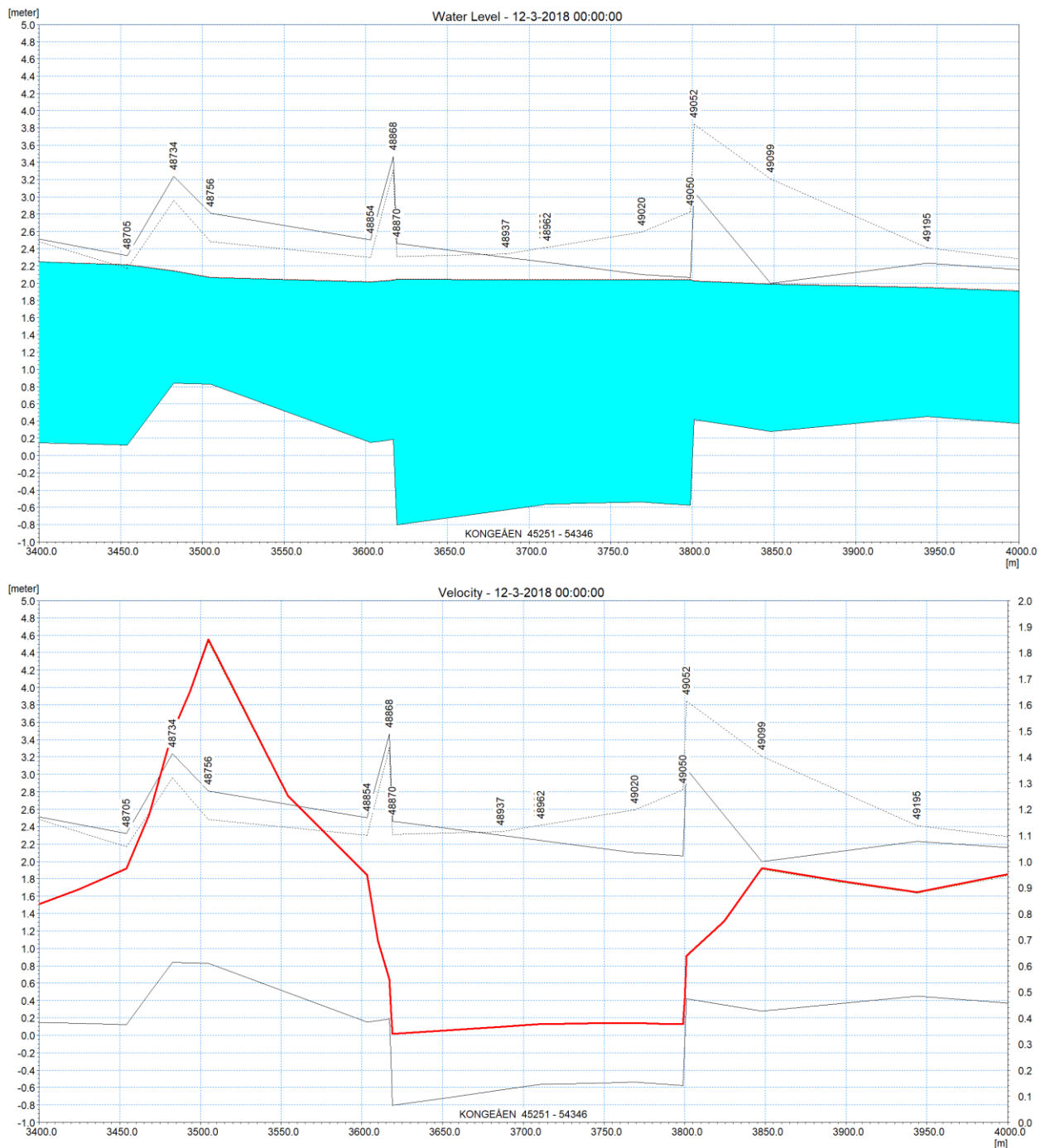
Sandfang 2 kan etableres på strækningen nedstrøms Vilslev Spang. Esbjerg Kommune har vurderet, at sandfang 2 skal have en længde på op til 180 m, en bundbredde på 20 m og en dybde svarende til nuværende bund minus 1 m. Sandfang 2 skal placeres mellem st. 48.870 og 49.050, se Figur 11.



Figur 11. Placering af sandfang 2.

Som ved Sandfang 1 er det vurderet, hvorvidt disse dimensioner er fornuftige i forhold til sammensætningen af sand i Kongeåen.

På Figur 12 fremgår beregnet vandstand og gennemsnitlig strømhastighed i sandfang 1 ved tomt sandfang.



Figur 12. Vandstand og hastighed i sandfang 2 ved tomt sandfang.

Den gennemsnitlige opholdstid svarende til 155 m effektivt sandfang (fraregnet 25 m overgangszone i sandfanget) er 426 sekunder. Med en vanddybde ved udløbet på 1,6 m kan den kritiske sedimentationshastighed for sandfang 2 bestemmes til:

Tomt sandfang: 0,004 m/s

Dette svarer tilnærmelsesvist til sedimentationshastigheden for sandkorn i størrelsen 0,09 mm (fint sand = 0,063 – 0,2 mm). I henhold til kornstørrelsesfordelingen betyder det, at 95 % af sandet i Kongeåen vil kunne bundfældes i sandfang 2 ved en medianmaksimumafstrømning, dvs. størstedelen af det fine sand, der transporteres i Kongeå. Det vurderes således, at længden godt kan reduceres til 100 m som sandfang 1. Som ved sandfang 1 bør der etableres en fast tærskel ved udløbet af sandfanget.

Sandfang 3 opstrøms Kongeåslusen

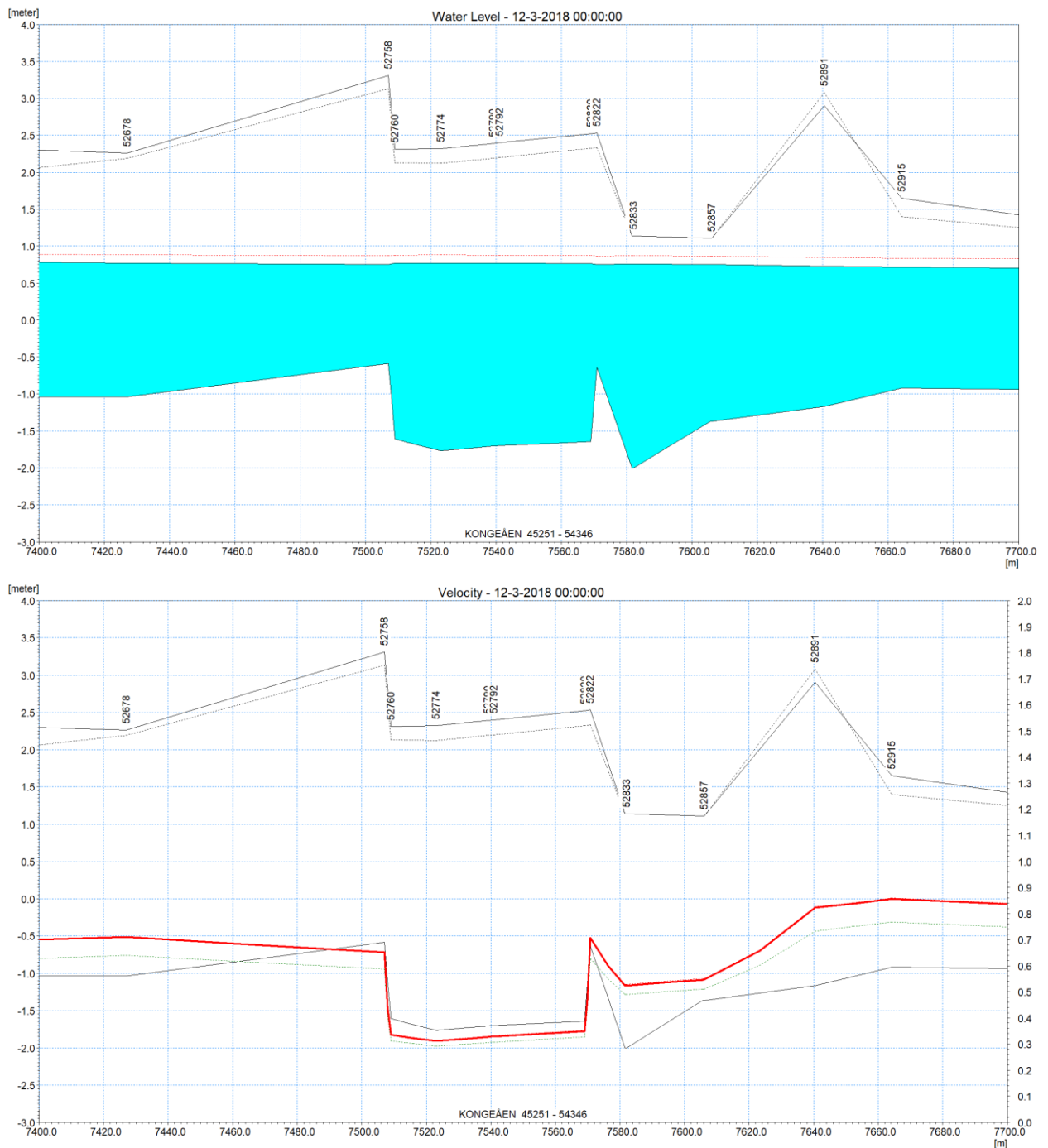
Sandfang 3 kan etableres på strækningen umiddelbart opstrøms Kongeåslusen. Esbjerg Kommune har vurderet, at sandfang 3 skal have en længde på 60 m, en bundbredde på 25 m og en dybde svarende til nuværende bund minus 1 m. Sandfang 1 skal placeres mellem st. 52.760 og 52.820, se Figur 13.



Figur 13. Placering af sandfang 3.

Der er en række forhold, der gør funktionen af sandfang 3 anderledes end sandfang 1 og 2. Dels er længden kun 60 m og dels er det ikke muligt at lave fast tærskel i den nedre del af sandfanget. Dette betyder, at sandfangets effekt i forhold til suspenderet sediment er dårligere end sandfang 1 og 2.

På Figur 14 ses længdeprofil for sandfang 3 med vandstand og gennemsnitlig strømhastighed ved medianmaksimumafstrømning. Ved udgravning af sandfanget vil der opstå en tærskel mellem den nedre del af sandfanget og indløbet til slusen. Denne tærskel sikres med sten med en topkote svarende til regulativmæssig bund (ca. -0,63 m DVR90).



Figur 14. Vandstand og hastighed i sandfang 1 ved tomt sandfang.

Den kritiske sedimentationshastighed for sandfang 3 er bestemt til 0,024 m/s under antagelse af, at der ikke er en tærskel mellem nedre del af sandfanget og slusen. Dette betyder, at sandfanget ikke vil kunne bundfælde fint sand ved store afstrømninger, men alle kornstørrelser >0,25 mm (medium og groft sand) vil kunne bundfældes. Det forventes, at det netop er den størrelse sand, der kan skabe problemer med aflejring i selve Kongeåslusen.