

Q - Holm Consult
Fynsgade 4
8600 Silkeborg
SE Nr. 10 47 53 41

Højvandsreduktion i Silkeborg Langsø

Silkeborg Langsø

Vurdering af muligheder for højvandsreduktion

Oktober 2002

Rekvirent

Århus Amt
Natur og Miljø
Amtsgården
Lyseng Allé 1
8270 Højbjerg
Telefon: 89 44 66 66
Telefax: 89 44 69 82

Silkeborg Langsø

Vurdering af muligheder for højvandsreduktion

Oktober 2002

Udgave	Betegnelse/Revision	Dato	Udført	Kontrol	Godkendt
0	Basis	06/09-2002	TFH		TFH
1	QA	21/10-2002	TFH	TFH	

1.	INDLEDNING	2
1.1	Foranledning.....	2
1.2	Generelt	2
2.	ETABLERING AF REGNEGRUNDLAG	3
2.1	Søopmålingen.....	3
2.2	Gudenå opmålingen.....	3
2.3	Hydrometriske data	4
2.4	Beregningsmæssige forudsætninger.....	5
3.	GRANSKNING	6
4.	BEREGNINGS METODE	7
4.1	Generelt	7
4.2	Metodik	7
5.	RESULTATER.....	8
5.1.1	Omkostninger	9
5.1.2	Konsekvenser.....	9
6.	SAMMENFATNING	10

1. **INDLEDNING**

1.1 **Foranledning**

I begyndelsen af 2002 stod vandspejlet i Silkeborg Langsø usædvanligt, og generende højt.

Dette har foranlediget Silkeborg Kommune til at henvende sig til Århus Amt, med henblik på at lade foretage en undersøgelse af mulighederne for at mindske fremtidige oversvømmelser. (Århus Amts notat af 30. maj 2002 j. nr. 9-23-76-1-02)

I overensstemmelse med dette har Århus Amt ladet foretage denne skitse-mæssige beregning af, hvilke konsekvenser det vil have, såfremt vandspejlskoten i Silkeborg Langsø skal holdes lavere end f.eks. kote 20,00 m DNN.

I den forbindelse også hvilke indgreb (regulering, uddybning eller større bredde) Gudenå skal have nedstrøms for Silkeborg Langsø, for at søvandspejlet kan holdes under det ønskede niveau.

1.2 **Generelt**

Gennem de senere år har der været markante højvandstilstande i Silkeborg Langsø.

I begyndelsen af 2002 stod højvandet i kote 20,17 m DNN, til sammenligning med normal vandstand i kote 18,00 - 18,50 m DNN.

2. **ETABLERING AF REGNEGRUNDLAG**

Regnegrundlaget består dels af opmåling af den egentlige Gudenå (fra hovedvejsbroen A15) og dels regnetekniske profiler af Silkeborg Langsø's østre bassin.

Regnegrundlaget opbygges med hydrometriske datalister om opland, vandføring, Manningtal og punktkilder.

2.1 **Søopmålingen**

Materialet udleveret af Århus Amt, Natur- og Miljø kontoret, er Geodætisk Institut's kort fra 1936, hvor dybder er angivet i m under vandstand 18,00 m DNN, medens højder på land er angivet med 5 fods kurver.

Kortet danner baggrund for optagning af en række tværprofiler, der beskriver søens topografi og volumen.

Disse tværprofiler kombineres med opmålingen af Gudenå (1997) og danner det topografiske grundlag for beregninger af såvel nuværende tilstand som modelberegninger af en ændret tilstand, der skal aflaste ekstreme højvandsituationer.

Indarbejdelse af søprofiler i et regnegrundlag har to formål:

1. så eksakt som muligt at afspejle søens hydrauliske funktion (volumen og gennemstrømningsareal)
2. at sikre sig, at selve søens form ikke er årsag til de problematiske højvandsituationer.

2.2 **Gudenå opmålingen**

Opmålingen af Gudenå er foretaget i 1997 i forbindelse med revision af Gudenå regulativet. Disse data er ligeledes stillet til rådighed af Århus Amt.

Opmålingsdata fra den oprindelige opmåling af Gudenå 1922, i forbindelse med anlæg af Tangeværket, er tilsvarende stillet til rådighed af amtet.

En 80 år gammel opmåling kan umiddelbart opfattes som historisk. Imidlertid viser sammenligninger af 1922 og 1997 opmålingerne god overensstemmelse og indikerer således at Gudenåen har en solid formstabilitet.

Et søvandspejl er bestemt af søens udløbstærskel og vandføringsevnen i den umiddelbart nedstrøms liggende del af afløbet.

Alle hydrauliske arbejder hviler på så gode og nutidssvarende data som muligt. Gudenå er sidst opmålt 1997. Førrige opmåling fandt sted i 1922.

I forbindelse med regulativ udarbejdelsen for Gudenå i 1997, viste der sig en overordentligt tro overensstemmelse mellem opmålingerne foretaget med 75 års mellemrum. Granskningen viser, at Gudenå er meget formstabil.

Til trods for, at Gudenå opmålingen er 5 år gammel kan der således ikke, med føje, stilles spørgsmål ved dens godhed.

Karakteristiske størrelser.

I nedenstående skema er gengivet karakteristiske størrelser for bredde og dybde på strækningen fra hovedvejsbroen til Resebro Bro

Station m	Bredde	Middelbundkote	Bemærkning
170	48	16,5	Hovedvejsbro
500	149	17,6	330 m nedstrøms for hovedvejsbro
1.000	96	17,4	830 m nedstrøms for hovedvejsbro
1.255	146	17,0	1.085 m nedstrøms for hovedvejsbro
1.531	31	17,6	1.361 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.074	38	17,7	1.904 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.122	44	17,4	1.952 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.280	27	16,6	2.110 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.520	23	17,5	2.350 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.804	22	17,5	2.634 m nedstrøms for hovedvejsbro
3.040	29	17,4	Indløb Resebro Bro

2.3 Hydrometriske data

De hydrometriske data består dels af data brugt ved revision af Gudenå regulativet, dels af nyere observationer, der indgår i Århus Amt's projektgrundlag for anlæg af en faunapassage ved Silkeborg Papirfabrik.

Vandføringerne er store. Der anvendes således størrelsen 10-års maks. der statistisk kun kan forudses én gang hvert tiende år. Som kontrol af, at der ikke opstår for lav vandstand i Silkeborg Langsø ved små vandføringer, er projektet sammenlignet med medianminimum, se omstående tabel.

Størrelse	Station m	Værdi liter/sek	Bemærkning
10 års maksimum	0	36.348	Silkeborg Langsø
10 års maksimum	20.849	55.350	Ved indløbet i Tange Sø
Median minimum	0	6.400	Silkeborg Langsø
Median minimum	8.820	8.820	Ved indløbet i Tange Sø
Median maksimum	0	28.210	Silkeborg Langsø
Median maksimum		44.035	Ved indløbet i Tange Sø

10 års maksimum er (den store) vandføring, der statistisk kun vil indtræffe en gang hvert tiende år.

Median minimum er (den lille) vandføring, der statistisk kun vil indtræffe en gang hvert andet år.

Median maksimum er (den store) vandføring, der statistisk kun vil indtræffe en gang hvert andet år, og er medtaget til illustration af, at det er endog meget store vandmængder, der kan forårsage stort højvande i Silkeborg Langsø.

2.4 **Beregningsmæssige forudsætninger**

Det grundlæggende arbejde ved etablering af et regnegrundlag er, at grundlaget så præcist som muligt afspejler de nuværende forhold.

Da alle efterfølgende beregninger hviler på ændringer (udbygning eller bredere gennemstrømningsprofiler) af denne "nutidsmodel", er det afgørende, at regnegrundlaget reagerer som en tro afspejling af de observerede hændelser, f.eks. stort højvande i Silkeborg Langsø ved de registrerede vandmængder.

Udover, at beregningerne er udført på de beskrevne data, er alle vandspejlsberegninger påbegyndt i Tange Sø ved en vandspejlskote på 13,61 m DNN. Denne kote er flodemålskoten, som skal overholdes af Tangeværket.

En vandspejlsberegning foregår i modstrøms retning. Det kan enkelt beskrives som, at ophobet vand på en nedstrømsstrækning "spærrer" for vandet fra den opstrøms strækning, og dermed er bestemmende for vandspejlskoten på opstrømsstrækningen.

3. **GRANSKNING**

Beskrivelsen af de anvendte data og de beregningsmæssige forudsætninger giver mistanke om, at årsagen til store højvande i Silkeborg Langsø kan findes på strækningen hvor Gudenå bliver smal, ca. 1,4 km nedstrøms for hovedvejsbroen.

For at udelukke, at det kunne være andre forhold, der forårsager de store højvande i Silkeborg Langsø, er der gennemført en granskning af hele strækningen fra hovedvejsbroen til Resenbro Bro.

Forsøgsvis beregning med at sænke bunden i hovedvejsbroen har ikke givet nogen vandspejlssænkning i Silkeborg Langsø.

Forsøgsvis beregning med at sænke Gudenåens bund på de første 1.000 m nedstrøms for hovedvejsbroen har ikke givet nævneværdig vandspejlssænkning i Silkeborg Langsø.

Forsøgsvis beregning på kombination af disse scenarier har heller ikke medført sænkning af vandspejlskoten i Silkeborg Langsø.

Granskningsresultat:

Årsagen til store højvande i Silkeborg Langsø er strækningen, hvor Gudenå går fra at være "søagtig" til at blive en smal veldefineret kanal ca. 1,4 km nedstrøms for hovedvejsbroen.

Alle andre forhold er udelukket.

Det vil derfor være modelmæssige ændringer og beregninger på denne strækning, der vil kunne afgøre om ekstrem højvande i Silkeborg Langsø kan reduceres.

4. **BEREGNINGS METODE**

4.1 **Generelt**

Beregningerne er foretaget i Århus Amt's statiske vandløbsmodel PROKA2000.

Anvendelsen af en statisk model er begrundet i, at den hydrauliske problematik netop er at betragte som statisk og søens dybde er ikke stor nok til, at der kan opstå seicher (stående interne bølger) ved f.eks. pludselige ændringer af vandføringen ved opstemningen på Silkeborg Papirfabrik.

Desuden er beregninger i en statisk model hurtigere og enklere end i en dynamisk model, der forudsætter en stor forberedelse af beregningsvilkårene.

Den statiske model har således muliggjort et langt højere antal gennemregninger og muliggjort hurtigere tilpasning af modeldata.

4.2 **Metodik**

Beregningsgrundlaget er forberedt ved først at skabe et regnegrundlag, der afspejler den nuværende situation.

Ved at foretage ændringer i dette regnegrundlag, f.eks. af søens tærskelhøjde, kan der foretages beregninger, der viser konsekvenserne af ændringerne og om disse er tilfredsstillende ud fra ønsket om at reducere ekstremt højvande i Silkeborg Langsø.

5. RESULTATER

Den beregnede model har egenskaben, at kunne sænke vandspejlskoten i Silkeborg Langsø til kote ca. 20 m DNN og fremlægges nedenfor.

Indgrebet er en meget omfattende regulering (forholdsvis stor uddybning og navnlig stor breddeforøgelse) på strækningen fra 1.361 m nedstrøms for Hovedvejsbroen til Resebro Bro.

Omfanget fremgår af nedenstående tabel.

Station m	Bredde	Middel- bundkote	Proj. Bund	Bemærkning
170	48	16,5		Hovedvejsbro
500	149	17,6		330 m nedstrøms for hovedvejsbro
1.000	96	17,4		830 m nedstrøms for hovedvejsbro
1.255	146	17,0		1.085 m nedstrøms for hovedvejsbro
1.531	31	17,6	16,50	1.361 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.074	38	17,7	16,46	1.904 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.122	44	17,4	16,45	1.952 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.280	27	16,6	16,44	2.110 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.520	23	17,5	16,42	2.350 m nedstrøms for hovedvejsbro
2.804	22	17,5	16,40	2.634 m nedstrøms for hovedvejsbro
3.040	29	17,4		Indløb Resebro Bro

Projektstrækningens bundbredde øges til 55 m.

Forskellen mellem nuværende middelbund og projekteret bund ser større ud end egentligt praktisk. Det skyldes, at den omhandlede strækning har en smal og snæver strømrønde i et større lavvandet profil. Dette får indflydelse på middelbunden. Det faktiske er, at det i langt større grad er bundbredden, der skal forøges.

Beregningerne viser, at denne model kan holde vandspejlet i Silkeborg Langsø på kote 20,02 m DNN ved maksimal vandføring.

Det skal bemærkes, at denne model ikke "flytter" højvandsproblemet til strækningen nedstrøms for Resebro Bro. Nedstrøms herfor er vandspejlskonsekvenserne neutrale.

Der er tale om et meget omfattende indgreb. Alene jordarbejdet andrager opgravning, flytning og indbygning af 132.500 m³ jord og sediment.

5.1.1 *Omkostninger*

Omkostningerne til et så omfattende projekt afspejles i prisen.

Nedenstående tabel viser en overslagsmæssig kalkulation af omkostningerne.

Aktivitet	Antal	Enhed	Sats	Delsum kr
Detailprojektering	1	stk	95.000	95.000
Sagsbehandling og offentlige møder	50	timer	250	12.500
Etablering af byggeplads	1	stk	10.000	10.000
Jordflytning	132.500	m ³	18	2.385.000
Indbygning og intern transport	132.500	m ³	7	927.500
Køreplader	2,8	kr/km	7.500	21.000
Retablering	1	stk	25.000	25.000
Sammentælling				3.466.000

5.1.2 *Konsekvenser*

De beregnede konsekvenser er, at søvandspejlet kan holdes på kote 20,02 m DNN.

Konsekvenserne for Gudenåens vandløbskvalitet er store, da middel vandhastigheden nedsættes fra ca. 23 cm/sek til 15-1 cm/sek. Dette indebærer en risiko for, at reguleringen skal vedligeholdes i fremtiden, da der er risiko for tilsanding på grund af den nedsatte vandhastighed.

Det er ikke tilfældigt, at Gudenå er konstateret formmæssigt stabil gennem mere end 80 år. Såvel den stadige strøm, som store pulser af maksimal vandføring har formet vandløbets topografi, til en stabil formmæssig balance.

På den nedre kilometer af den 1,3 km lange projektstrækning, er bunden beskrevet som groft grus. Dette materiale er vigtigt for vandløbskvaliteten, og vil blive gravet op. I tilfælde af, at man vælger at replacere dette, vil det medføre yderligere omkostninger.

6. **SAMMENFATNING**

En granskning viste, at en regulering af de første 1.000 m nedstrøms for hovedvejsbroen kun vil kunne medføre en meget lille reduktion af ekstrem vandstand i Silkeborg Langsø.

Det må konstateres, at såvel Gudenå som den ved ekstremvandføringer oversvømmede ådal har en maksimal kapacitet, der er bestemmende for ekstremvandstand i Silkeborg Langsø.

Ved den beregnede regulering kan vandføringsevnen gennem den begrænsende ådal forøges, hvorved maksimalvandspejlet i Silkeborg Langsø kan reduceres.

En sænkning af maksimal vandspejlet i Silkeborg Langsø er teknisk mulig; men omkostningerne, såvel økonomiske som de miljø- og naturmæssige, er store.