Statens geotekniska institut

Transport av suspenderat material i Göta älv

Gunnel Göransson, Håkan Persson och Karin Lundström

GÄU - delrapport 4

Linköping 2011

GÄU
Göta älvutredningen
2009 - 2011

Foto: SGI

STATENS GEOTEKNISKA INSTITUT
SWEDISH GEOTECHNICAL INSTITUTE

Göta älvutredningen - delrapport 4

Transport av suspenderat material i Göta älv

Transport of suspended sediments in the Göta river, Sweden

Gunnel Göransson
Håkan Persson
Karin Lundström

LINKÖPING 2011

Göta älvutredningen delrapport 4

Statens geotekniska institut (SGI)
581 93 Linköping

Beställning

SGI
Informationstjänsten
Tel: 013-20 18 04
Fax: 013-20 19 14
E-post: info@swedgeo.se
www.swedgeo.se

Dnr SGI 6-1001-0033

Uppdragsnr SGI 14091

FÖRORD

Göta älvutredningen (GÄU)

För att kunna möta kommande klimatförändringar och hantera ökade flöden genom Göta älv har Regeringen gett Statens geotekniska institut (SGI) i uppdrag att under en treårsperiod (2009-2011) genomföra en kartläggning av stabiliteten och skredriskerna längs hela Göta älvdalen inklusive del av Nordre älv. Tidigare utförda geotekniska undersökningar har sammanställts och nya undersökningar har utförts längs hela älven. Metoderna för analys och kartering av skredrisker har förbättrats. Nya och utvecklade metoder har tagits fram för att förbättra skredriskanalyser och stabilitetsberäkningar, förbättra kunskapen om erosionsprocesserna längs Göta älv, bedöma effekten av en ökad nederbörd på grundvattensituationen i området, utveckla metodiker för kartläggning och hantering av högsensitiv lera (kvicklera) samt utveckla metodik för konsekvensbedömning. Utredningen har genomförts i samverkan med myndigheter, forskningsinstitutioner och nationella och internationella organisationer.

Denna delrapport är en del i SGI:s redovisning till Regeringen.

Transport av suspenderat material i Göta älv

För att kunna genomföra ovan beskrivna uppdrag behövs information om flera olika förhållanden och delar och uppdraget har därmed delats upp i flera deluppdrag. Ett sådant deluppdrag rör erosion i älven och erosionens inverkan på skredrisken med Bengt Rydell, SGI, som deluppdragsledare. En viktig del i detta deluppdrag är att bedöma masstransporten av suspenderat material i älven.

Huvuddelen av föreliggande utredning är genomförd av Gunnel Göransson, SGI. Värdefulla bidrag har lämnats av Håkan Persson och Karin Lundström, SGI samt av Magnus Larson, Lunds universitet och Bengt Rydell, SGI. Kompletterande utredningar, som redovisas i bilagorna 1 och 2, har genomförts av Gunnel Göransson respektive Håkan Persson. Övergripande synpunkter har också lämnats av John Norrman.

Författaren vill rikta ett stort tack till personal från Göteborg Vatten (Åke Andersson, Åsa Henriksson och Bengt Dahlberg) som har givit oss möjlighet att ta vattenprov vid mätstationerna för turbiditet, försett oss med rådata för turbiditet och varit en ovärderlig diskussionspart i arbetet. Tack riktas också till Vattenfalls personal i Bispgården för all flödesdata vi fått ta del av och till VTS Trollhättan som gett oss information om fartygspassage.

Linköping 2011

Marius Tremblay
Uppdragsledare, Göta älvutredningen

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING 6

1 BAKGRUND OCH SYFTE 7

1.1 Bakgrund 7
1.2 Syfte 7
1.3 Mål 7

2 SUSPENDERAT MATERIAL 8

2.1 Beskrivning av transport av sediment i vatten 8
2.2 Definitioner och metoder för mätning av suspenderat material 8
2.3 Samband mellan turbiditet, suspenderat material och andra variabler 9

3 TIDIGARE UTREDNINGAR 10

3.1 Sundborg och Norrman 10
3.2 Göteborg Vatten och Göta älvs vattenvårdsförbund 10
3.3 Marin Miljöanalys AB – sedimenttransport vid Marieholm 12

4 GENOMFÖRANDE 14

4.1 Analys av suspensionshalt i tvärsektioner 14
4.2 Korrelation mellan suspensionshalt och turbiditet 15

5 RESULTAT 16

5.1 Analys av suspensionshalt i tvärsektioner 16
5.2 Korrelation mellan suspensionshalt och turbiditet 18
5.3 Osäkerheter 19
5.4 Transport av suspenderat material 19

6 UTVÄRDERING OCH JÄMFÖRELSE MOT TIDIGARE UTREDNINGAR 22

6.1 Turbiditet och provtagning inom föreliggande utredning 22
6.2 Analys av provtagning inom det nationella övervakningsprogrammet 24
6.3 Sedimentavbördningskurvor 25
6.4 Kompletterande analyser av turbiditeten längs Göta älv 28

7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER 29

REFERENSER 33

BILAGA 1 ANALYS AV EXTREM TAPPNING ÅR 2001 35

BILAGA 2 ANALYS AV TURBIDITETEN FÖR FYRA FÖRHÅLLANDEN 41

SAMMANFATTNING

Inom Göta älvutredningens deluppdrag Erosion har beräkning av masstransporten av suspenderat material (sediment) i Göta älv gjorts utifrån korrelation mellan turbiditetsdata för fem kontrollstationer längs Göta älv och halt av suspenderat material vid en av dessa. Dygnsmedelvärden för omräknad suspenderad halt och dygnsmedelvärden för flöde vid kraftstationerna och främst för åren 2004-2009 har använts. Därtill har suspenderad mängd beräknats utifrån provtagning av suspenderad halt i tvärsektioner som är gjorda av SMHI inom ramen för Göta älvutredningen. Resultaten har utvärderats och jämförts med varandra. Därtill har jämförelser gjorts med mätningar utförda av Sundborg & Norrman (1963), analyser av torrsubstans som redovisas av Göta älvs vattenvårdsförbund (GÄVVF, 2010) samt mätningar utförda av Marin miljöanalys (Westberg, 2010). Samtliga utredningar kommer till lite olika resultat, vilka delvis kan förklaras och som diskuteras i rapporten.

Utifrån genomförd utredning har följande slutsatser dragits:

- Den totala transporten av suspenderat material för hela Göta älv (utloppet Nordre älv och Göteborgsgrenen) ligger sannolikt över 120 000 ton/år. Ett medeltal på transport av suspenderat material innan förgreningen uppskattas till ca 123 kton/år (varav ca 109 kton/år oorganiskt) och i Göteborgsgrenen till ca 31 kton/år (varav ca 27 kton/år oorganiskt), med stora variationer mellan år.
- Ungefär 70 % av transporten suspenderat material uppströms förgreningen transporteras genom Nordre älv, med en variation mellan 49-85 % för de jämförda åren.
- Ett basflöde av suspenderat material inkommer från Vänern. Detta basflöde varierar i storlek beroende på processer i Vänerns avrinningsområde.
- Stor variation i masstransport mellan olika år, där år med riklig nederbörd ger avtryck i flödet (i älven och i biflödena) och transporten av suspenderat material.
- De stora variationerna i mängden suspenderat material (undantaget skred) är sannolikt ett resultat av variationer i tillförsel från Vänern, av utspolat material från omgivningen och biflödena till följd av nederbörd samt erosion i biflödena, dvs. variationer i mängden suspenderat material är mer nederbördsstyrt än flödesstyrt.
- Generellt tillförs material längs älven men vid vissa tillfällen finns indikation på att det kan avsättas betydande mängder i de södra delarna. Det är dock oklart om det är ett resultat av förändringar i flödesregim, mätstationens placering eller ett kontinuerligt mätfel.
- De processer som verkar i omgivande mark och i biflöden har inverkan på den totala materialtransporten i älven.
- Det sker sannolikt en baserosion i älven men den är inte så stor att den ger ett tydligt avtryck i flödet, dvs. signalen drunknar i det utspolade materialet. Det är dock rimligt att anta att den, tillsammans med fartygsinducerad erosion, har inverkan på släntstabiliteten.

1 BAKGRUND OCH SYFTE

1.1 Bakgrund

I den skredriskkartering för Göta älv som Statens geotekniska institut genomför i syfte att ge underlag för beslut om strategier för att möta den inverkan på skredrisk som klimatförändringar kan komma att ge, ingår att klargöra förekomsten av erosion i älven och erosionens inverkan på skredrisken. En del i detta deluppdrag har rört att bedöma masstransporten av suspenderat material i älven.

Föreliggande utredning baseras främst på befintligt material och undersökningsresultat, men vissa kompletterande undersökningar har även utförts. De kompletterande undersökningarna har avsett att utnyttja de befintliga data som finns kring grumlighetsmätningar längs älven genom att försöka korrelera grumlighet (turbiditet) till koncentration av suspenderat material. Flödesdata för beräkning av materialflöde har inhämtats från Vattenfalls driftcentral i Bispgården.

1.2 Syfte

Syftet med föreliggande utredning är att försöka utnyttja de långa mätserierna av kontinuerliga grumlighetsmätningar som finns för Göta älv och att utifrån dessa göra en bedömning av flödet av suspenderat material (sediment) i älven. I detta syfte ligger ett antagande om att det finns en stark koppling mellan grumlighet och suspenderade partiklar.

1.3 Mål

Målet med föreliggande undersökning är att den, tillsammans med andra utredningar, ska utgöra underlag för att kunna upprätta en sedimentbudget för Göta älv.

2 SUSPENDERAT MATERIAL

2.1 Beskrivning av transport av sediment i vatten

Transport av sediment i vatten kan delas in i fyra grupper, vilka närmare beskrivs nedan.

Transport av utspolat material (eng. wash load). Materialet utgörs av den andelen suspenderade partiklar som bärs med vattnet på ett sådant sätt att det håller sig kvar nära vattenytan, och beskriver inflödet av fina partiklar (silt- och lerfraktion) i suspension som inte interagerar med botten utan håller sig i suspension (Chanson, 2004b).

Transport av suspenderat material (eng. suspended load). Avser suspenderat material i vattenkolumnen och inkluderar även utspolat material, dock ingår ej bottentransport (Chanson, 2004a). Det suspenderade materialet utgörs av sedimentpartiklar som sedimenterar tillräckligt långsamt för att hållas i rörelse med det rinnande vattnet, både genom att röra vid, inte röra vid eller periodvis röra vid älvbotten/-kanten. Sådant suspenderat material utgörs vanligen av sand, silt eller lera.

Bottentransport (eng. bed load). Material som rör sig längs botten genom saltation, rullning eller att det glider. Materialet utgörs främst av friktionsmaterial.

Transport av lösta ämnen (eng. dissolved load). Avser material som transporteras genom att det är löst i vattnet, t ex joner. Denna del är betydligt mindre än det suspenderade partiklarna, även om det inte alltid är så. Lösta ämnen kan utgöra en betydande andel av den totala fluxen.

I ett vattendrag ingår alla delar men olika mycket, beroende på platsspecifika egenskaper. Generellt transporteras den största mängden fluviala sediment under tillfälliga flödestoppar och är då främst ett resultat av bankerosion (Jansson, 1988; WARMICE, 2003). Studier visar också på tydlig korrelation mellan mängd suspenderat partikulärt material och flöde (Lawler et al., 2006; Vericat and Batalla, 2005; Zonta et al., 2005). Detta förhållande kan dock antas vara annorlunda för ett hårt reglerat vattendrag som Göta älv, som dessutom har sin början i utloppet från ett stort utjämningsmagasin som Vänern utgör.

2.2 Definitioner och metoder för mätning av suspenderat material

Koncentrationen av suspenderat material (SSC – suspended sediment concentration) mäts gravimetriskt och avser främst minerogent material och organiskt material som kan sedimentera. SSC bestäms genom filtrering genom glasfiberfilter. Maskvidden finns inte bestämd i svensk standard men normalt används maskvidd 1,5 eller 1,6 µm. SSC anges i mg/l.

Turbiditet avser grumligheten i vattnet och mätning sker med optisk teknik och baseras på ljusrefraktion. I begreppet turbiditet ingår både minerogent och organiskt material, döda och levande organismer, partiklar, kolloider, mikroorganismer, bakterier och virus. Turbiditet anges vanligen i enheterna FNU, FTU eller NTU. Turbiditet är känslig för de processer som styr sedimenttransport men också för klimatologiska och biologiska faktorer (Håkansson, 2006; Wass et al., 1997). Därtill påverkas turbiditeten bl.a. av partikelstorlek och aggregation, färg, luftbubblor och ljusrefraktion (Pfannkuche and Schmidt, 2003; Wass et al., 1997).

Det är vanligt att turbiditet används som surrogat för koncentration av suspenderat partikulärt material eftersom det är enklare och billigare att mäta turbiditet och att det möjliggör kontinuerlig mätning (Lawler et al., 2006; Lopez-Tarazon et al., 2009). Det finns dock ingen generell formel för att omvandla turbiditetsvärden till halt av suspenderat material eftersom den är platsspecifik.

Torrsubstans (TS) är det material som blir kvar efter indunstning vid 105 °C och inkluderar således även kolloider och lösta joner.

Följande förkortningar används i rapporten:

SSC	Koncentrationen suspenderat material (sediment), eng. suspended sediment concentration. Anges i mg/l
SSC_{oorg}	Glödgnindsrest, dvs. koncentrationen oorganiskt suspenderat material (mg/l)
SSC_{tot}	Koncentration oorganiskt och organiskt suspenderat material (mg/l)
TSS	Total mängd suspenderat material, eng. total suspended solids (ton/år)
TSS_{oorg}	Total mängd oorganiskt suspenderat material (ton/år)
TSS_{tot}	Total mängd oorganiskt och organiskt suspenderat material (ton/år)
TS	Torrsubstans (mg/l)
Q	Flöde (m^3/s)
FNU	Formazin Turbidity Unit

2.3 Samband mellan turbiditet, suspenderat material och andra variabler

Flera studier har visat på ett starkt linjärt samband mellan turbiditet och suspenderat material (Chanson et al., 2008; Gentile et al., 2010; Holliday et al., 2003; Lenhart et al., 2010; Lin et al., 2011; Oeurng et al., 2010; Old et al., 2003; Pavanelli and Bigi, 2005; Pavanelli and Pagliarani, 2002; Tena et al., 2011; Uhrich and Bragg, 2003; Wass and Leeks, 1999). Ofta finns variationer i korrelationen mellan olika miljöer och inom olika delar av ett vattendrag, vilket inverkar på styrkan i den totala korrelationen. Bland andra har Wass och Leeks (Wass and Leeks, 1999) utgått från turbiditetsmätningar för att beräkna materialtransport i Humberfloden (UK). I tillägg till faktorer som klimat, markanvändning, avrinningsområde, depositions- och reservoarfällor kunde de uppmätta tydliga säsongsvariationer. Det finns studier som visat på andra samband till turbiditet, exempelvis mellan turbiditet och nederbörd (Lopez-Tarazon et al., 2009) och mellan turbiditet och mikroorganismer som koliforma bakterier (Maillard and Pinheiro Santos, 2008; Åström et al., 2007) och plankton (Néstor et al., 2001). Även ett samband till kväve har påvisats (Maillard and Pinheiro Santos, 2008). Generellt finns också en positiv korrelation mellan turbiditet och temperatur under vår/sommar (Göransson et al., Submitted 2011; Vernile et al., 2009), som kan förklaras av algtillväxt, men en negativ korrelation under höst/vinter på grund av nedbrytning av växter. Därtill har negativt samband påvisats mellan turbiditet och konduktivitet (Winston and Criss, 2002).

3 TIDIGARE UTREDNINGAR

3.1 Sundborg och Norrman

Den mest heltäckande utredningen avseende erosion och sedimenttransport i Göta älv är den av Sundborg och Norrman år 1963 (Sundborg and Norrman, 1963) med syfte att klarlägga erosionsprocessernas karaktär och omfattning. Utredningen är baserad dels på arkivmaterial, dels på ett omfattande fältarbete med avseende på geologi, morfologi och hydrologi. I syfte att bedöma sedimenttransporten utfördes vattenprovtagning för analys av mängden oorganiskt material. Stickprovsundersökningar gjordes i ett antal tvärsektioner vid Vargön, Hjulkvarn i Trollhättan, Lilla Edet uppströms slussen, landsvägsbron över Nordre älv samt vid råvattenintaget vid Lärjeholm (Alelyckan). Värdena från Nordre älv ansågs dock inte användbara varför värdena från Lärjeholm använts genom att utproportionera sedimenttransporten här på Nordre älv. Vattenprov för beräkning av den totala sedimenttransporten är tagna med 1-liters glasflaska och på nivån 1 meter under vattenytan. Vid analys filtrerades proverna genom 0,5 µm membranfilter varefter materialet glödgades. Delar av resultaten framgår av **Tabell 1** och **Tabell 2.**

Tabell 1. Transport av suspenderat material (oorganiskt) i Göta älv (Sundborg and Norrman, 1963).

	Vargön	Hjulkvarn	Lilla Edet	Lärjeholm	Nordre älv	Totalt
Ton/dygn	125	139	193	142	231*	373*
Ton/år	45 000	50 000	70 000	50 000	80 000*	130 000*

* Mängd uppskattad utifrån mängd vid Lärjeholm.

Tabell 2. Fördelning koncentration suspenderat material i två sektioner (Sundborg and Norrman, 1963).

Ca 1,5 km uppströms Slumpåns mynning, aktiv stranderosion	Djup	mg/l	Tösslanda	Djup	mg/l
30 m från V. stranden	2	7,6	2 m från V. stranden	ytan	7,2
Farledens mitt	1	10,0	10 m från V. stranden	ytan	7,2
Farledens mitt	3	5,6	Farledens mitt	1	7,9
Farledens mitt	5	8,0	Farledens mitt	10	9,2
Farledens mitt	7	4,8	50 m från Ö. stranden	14	14,4
Farledens mitt	9	9,2	2 m från Ö. stranden	ytan	1,2*
Farledens mitt	11	6,0			
2 m från Ö. stranden	ytan	75,2	* Möjligen strandnära vatten som ej härrör från älven		

3.2 Göteborg Vatten och Göta älvs vattenvårdsförbund

Göta älv utgör råvattentäkt för ett par kommuner längs älven, däribland Göteborgs Stad. Göteborgs Stad / Göteborg Vatten har sju mätstationer (**Figur 1**) längs älven som används för kontroll av vattenkvaliteten längs älven och som utgör ett varningssystem för stängning av råvattenintaget, i det fall kvaliteten avviker betydande från normalt. Råvattenintaget till Alelyckans vattenverk är lokaliserat vid Lärjeholm. Från respektive mätstation fås minutmedelvärden på turbiditet, pH, redox och konduktivitet. Speciellt turbiditeten används som markör för vattenkvaliteten och generellt stängs intaget vid Lärjeholm om turbiditeten överstiger 12 FNU (Formazin Turbidity Unit). Därtill genomförs vecko- och månadsvisa provtagningar längs älven då kemiska parametrar analyseras.

Figur 1. Göta älv nedströms Vänern och Göteborg Vattens mätstationer (Bild: Göteborg Vatten).

Råvatten för turbiditetsmätning vid Skräcklan tas in ca 1 km ut i en vik, djup troligen 8-10 m (Dahlberg, 2008). Vid Gäddebäck, Älvabo, Surte och Lärjeholm sitter intaget antingen vid en dykdalb eller annan fästanordning nära älvfåran, kanske 10-30 meter ut från strandlinjen, djup ca 3 m. Intagen vid Garn och Södra Nol är fästade vid brygga, kanske 2 m djup. Intaget vid Garn sitter knappt 1 m över botten och enligt Dahlberg syns bogvågorna från fartyg speciellt tydligt vid den stationen. Intaget vid Södra Nol är också lokaliserat knappt 1 m över botten och vid Surte ca 1 m över botten.

Det finns inga kontinuerliga mätningar på suspensionshalten (SSC). Inom det nationella övervakningsprogrammet[1] tas dock vattenprov i Nordre älv och i Göta älvs Göteborgsgren bland annat för bestämning av torrsubstans (TS) och glödgningsrest. Dessa resultat redovisas i de årsrapporter som sammanställs av Göta älvs vattenvårdsförbund (GÄVVF). TS är inte direkt jämförbart med SSC eftersom TS innehåller så gott som allt material, även kolloider och lösta joner, medan SSC avser det material som fastnar på filter med maskvidden ca 1,6 µm.

[1] Naturvårdsverket har det övergripande ansvaret för nationell och regional miljöövervakning. Övervakningen genomförs av olika instanser men finansieras av Naturvårdsverket. För Göta älv genomförs provtagningen av Göteborg Vatten som också ingår i Göta älvs vattenvårdsförbund.

Tabell 3. Masstransport baserad på analys av torrsubstans (GÄVVF, 2010).

	Ormo	Lärje-holm	TOT		Ormo	Lärje-holm	TOT
2002				**2006**			
Qmedel (m3/s)	357	159	516	Qmedel (m3/s)	381	160	541
TS (kton/år)	659	345	1004	**TS** (kton/år)	1041	534	1575
Andel	66%	34%		Andel	66%	34%	
Glödgn.rest (kton/år)	426	229	655	**Glödgn.rest** (kton/år)	784	404	1188
Andel	65%	35%		Andel	66%	34%	
Andel Glödgn.rest av TS	65%	66%		Andel Glödgn.rest av TS	75%	76%	
2003				**2007**			
Qmedel (m3/s)	219	145	364	Qmedel (m3/s)	454	178	632
TS (kton/år)	428	560	988	**TS** (kton/år)	718	627	1345
Andel	43%	57%		Andel	53%	47%	
Glödgn.rest (kton/år)	282	437	719	**Glödgn.rest** (kton/år)	479	461	940
Andel	39%	61%		Andel	51%	49%	
Andel Glödgn.rest av TS	66%	78%		Andel Glödgn.rest av TS	67%	74%	
2004				**2008**			
Qmedel (m3/s)	280	149	429	Qmedel (m3/s)	503	178	681
TS (kton/år)	830	628	1458	**TS** (kton/år)	944	357	1301
Andel	57%	43%		Andel	73%	27%	
Glödgn.rest (kton/år)	333	269	602	**Glödgn.rest** (kton/år)	644	243	887
Andel	55%	45%		Andel	73%	27%	
Andel Glödgn.rest av TS	40%	43%		Andel Glödgn.rest av TS	68%	68%	
2005				**2009**			
Qmedel (m3/s)	293	156	449	Qmedel (m3/s)	402	165	567
TS (kton/år)	498	351	849	**TS** (kton/år)	902	383	1285
Andel	59%	41%		Andel	70%	30%	
Glödgn.rest (kton/år)	348	228	576	**Glödgn.rest** (kton/år)	600	263	863
Andel	60%	40%		Andel	70%	30%	
Andel Glödgn.rest av TS	70%	65%		Andel Glödgn.rest av TS	67%	69%	

Vattenprov i Nordre älv är tagna från brygga, ca 3 m ut från strandkanten, strax intill järnvägsbron vid Ormo. Vattenproverna är tagna med ruttnerhämtare och på ca 0,5 m djup (Andersson, 2010). Vid Lärjeholm tas prov vid Göteborg Vattens mätstation och analyseras således på samma vatten som också turbiditet mäts på (Andersson, 2010), vilket innebär vattenprov från ca 3 m djup. Dessa provtagningar görs inom ramen för det nationella övervakningsprogrammet och benämns PMK.

Torrsubstans har bestämts genom torkning vid 105 °C. Glödgningsrest motsvarar återstoden då torrsubstansen glödgats i 550 °C (observera att även oorganiska ämnen kan försvinna vid glödgning, t.ex. zink). Analys av torrsubstans (suspenderade partiklar så väl som kolloider, organiskt material och mikroorganismer) har visat en variation i masstransport torrsubstans på ca 850-1600 kton/år, varav 345-628 kton/år i Göteborgsgrenen (GÄVVF, 2010) (**Tabell 3**). Masstransport oorganiskt material (glödgningsrest) har varierat mellan ca 580-1200 kt/ton, dvs. ca 60-30 % av TS (**Tabell 3**) (GÄVVF, 2010).

3.3 Marin Miljöanalys AB – sedimenttransport vid Marieholm

År 2010 genomförde Marin Miljöanalys AB en undersökning av sedimenttransport vid Marieholm som underlag för utformning av den planerade Marieholmstunneln. Enligt denna beräknades bottentransporten vid Marieholm (Göteborgsgrenen, ner mot Göteborgs Stad) till 150-6 000 ton/år (Westberg, 2010). Det bottentransporterade materialet består här mestadels av sand. I

samma studie visade analys av suspenderat material i en av punkterna en variation mellan 6-15 mg/l (0,5-8 m djup) med högst halt närmast botten. I en annan punkt varierade koncentrationen mellan ca 5,7-8,3 mg/l (1-6 m djup) med högst halt kring 4 m djup. Korrelation mellan koncentration av suspenderat material och turbiditet (portabel turbiditetsmätare, enhet NTU: Nephelometric Turbidity Units) visade en regressionskoefficient på $r^2 = 0,99$ (Westberg, 2010). Vattenprov för bestämning av SSC i djupprofil gjordes i två punkter, dock har resultaten härav inte använts för beräkning av sedimenttransport.

4 GENOMFÖRANDE

4.1 Analys av suspensionshalt i tvärsektioner

Analys av suspensionshalt genomfördes i ett par tvärsektioner i syftet att dels få en uppfattning om variation i suspensionshalten både längs älven och i tvärsektion, dels bedöma hur representativa grumlighetsmätningarna är i förhållande till hur de är placerade.

På uppdrag av SGI genomförde SMHI i augusti 2010 vattenprovtagning i två sektioner längs Göta älv för analys av suspenderat material. Sektionerna valdes ut utifrån resultaten av SGI:s bottenundersökning längs Göta och Nordre älv i början av samma sommar. Den ena sektionen (sektion 17200) är belägen strax nedströms Trollhättan och den andra (sektion 65000) är belägen vid Kungälv, strax uppströms förgreningen mellan Göta och Nordre älv. I november 2010 gjordes provtagningen om och kompletterades med en sektion i Göta älvs Göteborgsgren, råvattenintaget vid Lärjeholm, och en sektion i Nordre älv, Ormo. Vid den senare provtagningen valdes fler nivåer och specifikt 0,5 m under vattenytan och 0,5 m över botten, därtill analyserades också glödningsrest. Samtliga analyserna är utförda av SMHI:s oceanografiska laboratorium och enligt SS-EN 872:2005.

Figur 2. Foton sektion 17200 (SGI, 2010). Rött streck (mittenbilden) visar bottenytan.

Figur 3. Foto sektion 64300, intill 65000 (SGI, 2010). Rött streck visar bottenytan.

Vid sektion 17200 (**Figur 2**) är älven ganska smal, ca 80 m bred. Vattendjupet är ca 12 m som djupast. Strandlinjen är brant och omgivningen kuperad (formad av erosion). Erosionsskydd ligger utlagt på båda sidor. Sedimenten i älven utgörs av fast lera på sidorna (främst glacial lera). I mitten av fåran påträffades grovsand på bottenytan. En å rinner ut strax norr om sektionen, på den västra sidan. Vid sektion 65000 (**Figur 3**) är älven ca 140 m bred. Vattendjupet är som mest drygt 10 m. Strandlinjen är flack med vida vassruggar ut i älven och omgivningen är flack (postglacial miljö) fram till berg. Sedimenten i älven utgörs generellt av mjuk, siltig lera med inslag av gyttja överst (postglaciala sediment).

4.2 Korrelation mellan suspensionshalt och turbiditet

I syfte att kunna korrelera olika turbiditetsnivåer under kort tid mot SSC var ursprungsförslaget att provta vatten i samband med fartygspassage. Mätstation Garn (**Figur 4**), belägen nedströms Lilla Edet, var utgångspunkt eftersom Garn tidigare visat på tydliga signaler från fartygspassage och därtill inte är påverkat av havsnivån. Genom tillgång till Göteborg Vattens mätbyssja kunde prov tas på exakt samma vatten som turbiditeten mäts på. ALS Scandinavia anlitades för analys av suspenderat material samt glödgningsrest, metod SS-EN 872:2005. Det togs ett antal vattenprover men efter de första analysresultaten visade det sig att laboratoriets rapporteringsgräns låg för högt (5 mg/l) och de flesta resultaten visade därmed en suspensionshalt mindre än 5 mg/l. Vid kontakt med laboratoriet ändrades rapporteringsgränsen till 2 mg/l. I det fall där turbiditetsnivån varierat under den tid det tagit att fylla provkärlet (1-liters plastflaska) har den mest representativa nivån angivits. Resultaten korrelerades mot turbiditetsnivån och ett linjärt samband återfanns som applicerades på turbiditetsdata för ett antal år och sex mätstationer. Omräkning från turbiditet till SSC gjordes, baserat på dygnsmedelvärden. Materialtransport beräknades genom att multiplicera SSC med dygnsmedelvärdet för flödet (Q).

Figur 4. Mätstation Garn. Vattenintaget till turbiditetsmätaren sitter längst till höger på bryggan. Passage av olastat fartyg på väg nedströms.

5 RESULTAT

5.1 Analys av suspensionshalt i tvärsektioner

1:a provtagningsomgången, augusti 2010

I sektion 17200 är koncentrationen suspenderat material relativt jämnt fördelad mot djupet och lägre än i sektion 65000 (**Tabell 4**). Den hårda botten och den grova sanden i sektion 17200 indikerar erosionsbotten där det lätteroderade materialet redan har försvunnit (kvar är en hård yta), vilket troligen innebär att det krävs betydande ökning av vattenhastigheten för att få ytsedimenten att suspendera. I mitten på sektion 65000 märks en ökning av SSC mot botten med en högsta koncentration på nivån 9,5 m under vattenytan (**Tabell 4**). Detta skulle indikera att det sker en tydligare bottentransport här än i den andra sektionen. Sedimentprofilen (tvärsnitt) består av mjuka sediment som lätt kommer i suspension, vilket delvis kan vara en förklaring. De mjuka sedimenten kan tyda på att det vid vissa tillfällen sker en sedimentation. Det tillsammans med urskiljbara sandkorn på ytan av sedimentpropparna indikerar att området kring sektion 65000 möjligen kan betecknas som en transportbotten.

Ett medelvärde på SSC för respektive sektion användes för att beräkna materialtransporten i dessa sektioner. Uppgifter på tim-medelflöden dagarna kring provtagningstillfällena, tillsammans med information om flyttider mellan kraftstationerna och Göteborg Vattens mätstationer vid olika flöden, har använts för att hitta representativa flöden för beräkning. Resultaten redovisas i **Tabell 5**. Resultatet är känsligt för vilket flöde som ansätts men mängderna i sektion 17200 ligger inom samma härad som de beräknade för Gäddebäck 2007 och de av Sundborg & Norrman för Hjulkvarn. Mängderna i sektion 65000 ligger i samma härad som den totala transporten uppskattad av Sundborg & Norrman.

Tabell 4. Resultaten från SMHIs provtagning augusti 2010.

Sektion	Provtagningsdjup (m)	Halt suspenderat material (SSC) (mg/l)		
17200 väster	0,5	5,4		
17200 väster	1,5	7,2		
17200 väster	2,5	6,5		
17200 mitten	0,5	5,2	Medel	6,0
17200 mitten	4	7,0		
17200 mitten	8	4,6		
17200 mitten	11	6,0		
65000 väster	0,5	10,5		
65000 väster	1,5	11,0		
65000 väster	2,5	11,9		
65000 mitten	0,5	11,6	Medel	13,5
65000 mitten	3,5	16,3		
65000 mitten	6,5	14,5		
65000 mitten	9,5	18,8		

Tabell 5. Beräkning av total transport suspenderat material (TSS_{tot}) utifrån SMHI:s provtagning augusti 2010.

	SSC mg/l	Q m^3/s	TSS_{tot} ton/år avrundat
Sektion 17200. *Ca 5 km nedströms Trollhättans kraftstation. Flyttid från Trollhättan till sektionen är ca 3,5 timmar vid 400 m^3/s, utgår således från flöde kl 06.*	6	394	**75 000**
Sektion 65000. *Ligger strax norr om förgreningen vid Kungälv. Flyttid från Lilla Edet till Kungälv är 12,7 timmar vid 900 m^3/s och 15,6 timmar vid 700 m3/s. Utgår således från flöde kl 18 den 25/8.*	13,5	866	**137 000**

2:a provtagningsomgången, november 2010

Resultaten från novemberprovtagningen redovisas i **Tabell 6**. Värdena ligger betydligt högre än vad som uppmättes vid SMHI:s provtagning i augusti 2010 i sektion 17200 och 65000, vid SGI:s provtagning i september-oktober 2010 vid Garn (se avsnitt 5.2) samt vid den av Sundborg & Norrman (1963). Resultaten ligger mer i samma härad som analys av torrsubstans redovisad av GÄVVF. Enligt uppgift från Hans Olsson vid SMHI som utförde provtagningen, var vattnet mycket grumligt och uppfattades som mycket turbulent. Flödet vid provtagningstillfället låg ganska högt (ca 800 m^3/s vid Lilla Edet) och det regnade dagen för provtagning och dagarna innan provtagning. Det är därmed rimligt att anta att innehållet till stora delar var påverkat av nederbörden. En liten ökning av halten suspenderat material i djupled kan noteras men den överlag ganska jämna fördelningen över profilen tyder på god omblandning. Baserat på flöde har masstransporten för den aktuella dagen beräknats (**Tabell 7**). Den beräknade materialtransporten har även utportionerats över ett helt år, vilket ger en stor överskattning av den verkliga transporten. Noterbart är dock att denna årstransport ligger i samma härad som den för TS som redovisas av GÄVVF. Dock har GÄVVF genomgående uppmätt halter i samma storleksordning som nedan, vilket är lite förbryllande (det har sannolikt inte regnat alla gånger vid provtagning). Turbiditetsmätningarna vid perioden för provtagningen visar att grumligheten i älven var hög, över 30 FNU. Enligt Åsa Henriksson på Alelyckans vattenverk (Göteborg Vatten) var turbiditeten hög under hela november.

Tabell 6. Vattenprovtagning och analys av suspenderat material

Sektion	Djup till botten (m)	Provtagningsdjup (m)	Halt suspenderat material (SSC) (mg/l)	Glödgningsrest (SSC_{oorg}) (mg/l)
17200 mitt		0,0	56	51
17200 mitt		0,5	58	53
17200 mitt		6,0	61	55
17200 mitt	12	11,5	60	55
17200 kant		0,0	51	47
17200 kant		0,5	57	52
17200 kant	3	2,5	55	51
65000 mitt		0,0	36	34
65000 mitt		0,5	37	33
65000 mitt		5,0	43	40
65000 mitt	10	9,5	50	46
65000 kant		0,0	37	34
65000 kant		5,0	37	35
65000 kant	3,5	3,0	45	42

Forts. tabell 6.

Sektion	Djup till botten	Provtagningsdjup	Suspenderat material (SSC)	Glödgningsrest (SSC_{oorg})
	(m)	(m)	(mg/l)	(mg/l)
Ormo mitt		0,0	26	23
Ormo mitt		0,5	27	25
Ormo mitt		5,0	37	34
Ormo mitt	10	9,5	36	33
Ormo kant		0,0	30	27
Ormo kant		0,5	34	31
Ormo kant	3,5	3,0	35	31
Lärjeholm mitt		0,0	34	31
Lärjeholm mitt		0,5	38	35
Lärjeholm mitt	8	4,0	42	38
Lärjeholm mitt		7,5	43	40
Lärjeholm kant		0,0	28	26
Lärjeholm kant		0,5	31	28
Lärjeholm kant	3	2,5	32	29

Tabell 7. Transport suspenderat material (TSS_{tot}) och transport glödgningsrest (TSS_{oor}).

Sektion	17200	65000	Ormo	Lärjeholm
Q (m^3/s)	735	842	631	211
Kommentar till Q	Q Trollhättan, medel av två timvärden	Q Lilla Edet med hänsyn till rinntid, ca 13 h vid drygt 800 m^3/s	Q Norde älv (Ormo), medel av två timvärden	Q Göteborgsgrenen
SSC_{medel} (mg/l)	57	41	32	35
TSS_{tot} (ton/d)	3620	2983	1745	638
TSS_{TOT} (kton/år)	1321	1089	637	233
SSC_{oorg} (mg/l)	52	37	29	32
TSS_{oorg} (ton/d)	3302	2692	1581	583
TSS_{oorg} (kton/år)	1205	982	577	213

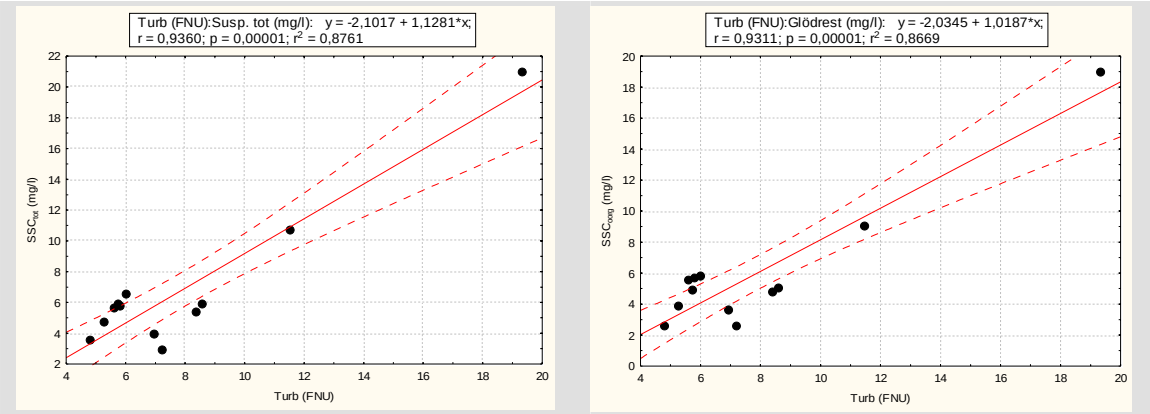
Representativitet i placeringen av turbiditetsmätarna

Provtagningen visar att suspensionshalten ökar mot djupet och mot mitten men att variationen är som högst 45 % (således ingen tiopotens). Vattenintagen för grumlighetsmätningarna är placerade ca 10-30 meter ut från strandlinjen (dvs. ganska nära kanten) och någon meter över botten, vilket således bör vara relativt representativt för hela sektionen.

5.2 Korrelation mellan suspensionshalt och turbiditet

Regressionsanalysen baseras på 12 prov vilket kan bedömas som i underkant, framförallt saknas fler värden vid turbiditet över 10 FNU. De flesta prov togs i september/oktober 2010 men kompletterades i januari 2011. Resultaten redovisas i **Figur 5**. Av resultaten framgår att det finns ett linjärt samband mellan turbiditet och halten suspenderat material. Analys av glödgningsrest visar att det minerogena materialet utgör mellan 74-98 %. Det något sämre sambandet mellan glödgningsförlust (dvs. den andel som försvinner vid glödgning) och turbiditet indikerar att innehållet till stora delar är oorganiskt. I föreliggande fall är det sambandet mellan turbiditet och glödgningsrest som har använts eftersom det i föreliggande fall är den partikulära och minerogena transporten som är av intresse. Regressionssambandet mellan turbiditet och glödgningsrest

(SSC_{oorg}) användes för att räkna om dygnsmedelvärden på turbiditeten till koncentration suspenderat material.



Figur 5. Linjär korrelation mellan turbiditetsnivå och total suspensionshalt (SSC_{tot}) och oorganisk suspensionshalt (SSC_{oorg}). De streckade linjerna avser 95 % - konfidensintervall. R^2 avser regressionskoefficient.

5.3 Osäkerheter

Korrelationen mellan SSC och FNU är baserat på ett fåtal prover och avseende Garn. Denna korrelation har applicerats på samtliga turbiditetsdata från samtliga mätstationer. Hänsyn har således inte tagits till lokala variationer i omgivningspåverkan i turbiditeten eller att innehållet är årstidsberoende. Vid den kompletterande provtagningen i januari 2011 togs även prov vid Lärjeholm. Analys av glödgningrest visade en skillnad på 2 % av mängden organiskt material (12 % organiskt material i Garn och 10 % organiskt material i Lärjeholm). Korrelation mellan SSC och FNU, genererat av fartygspassage, kan ge missvisande information då turbiditeten vid fartygspassage inte är ett resultat av naturliga processer. I föreliggande provtagning var det dock inte alla passager som gav någon tydlig ökning av turbiditeten. Ytterligare en osäkerhet är att turbiditetsnivån påverkas av biologisk beläggning på mätutrustningen och att turbiditetsvärdena skiljer sig före och efter rengöring som utförs en gång per vecka. Ju lägre turbiditet desto känsligare är korrelationen för denna osäkerhet. Fler analyser vid höga turbiditetsnivåer hade varit önskvärt. Dock bör det hållas i åtanke att erhållen korrelation är signifikant stark och att regressionskoefficienten tyder på ett tydligt beroende mellan suspensionshalt och turbiditet.

5.4 Transport av suspenderat material

Beräkning av transport av suspenderat material (sediment) är baserad på turbiditetsdata med dygnsmedelvärden för mätstation Lärjeholm (råvattenintaget) under åren 2002-2009, för mätstation Surte, Södra Nol och Garn under åren 2004-2009, samt Gäddebäck under åren 2005-2009. Baserat på dygnsmedelvärdet på flödet vid Trollhättan, Lilla Edet och Göteborgsgrenen[2] beräknades transporterad mängd suspenderade sediment per dygn. För FNU lägre än 2 blir SSC_{oorg} negativt och för FNU mycket nära 2 blir SSC_{oorg} noll, dessa data har exkluderats vid medelvärdesberäkning. Resultaten redovisas i **Tabell 8** och **Tabell 9** med en sammanställning i **Tabell 10**. TSS_{oorg} avser total mängd oorganiskt suspenderat material, SSC_{oorg} avser oorganisk koncentration suspenderat material. Resultaten för total mängd är sammanställda i **Tabell 11**.

[2] Flödet i Göteborgsgrenen beräknas utifrån differens mellan flöde Lilla Edet och flöde Nordre älv.

Tabell 8. Beräknad transport oorganiskt suspenderat material (TSS_{oorg}) baserat på turbiditet vid mätstationerna Gäddebäck, Garn, Södra Nol och Surte, under 2004/2005-2009. Mängderna är beräknade utifrån korrelations-sambandet mellan turbiditet och glödgningsrest.

GÄDDEBÄCK	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Q_{medel} (m^3/s)	-	441	516	600	658	542
SSC_{oorg_medel} (mg/l)	-	1,7	3,7	3,6	3,1	2,8
TSS_{oorg_tot} (ton/år)	-	15 467	62 414	71 402	69 244	52 864
TSS_{tot} (ton/år) avrundat	-	15 000	62 000	71 000	69 000	53 000
GARN	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Q_{medel} (m^3/s)	430	448	543	632	680	563
SSC_{oorg_medel} (mg/l)	2,9	1,5	5,4	6,2	5,6	4,3
TSS_{oorg_tot} (ton/år)	38 522	35 133	98 288	124 759	126 243	81 880
TSS_{tot} (ton/år) avrundat	39 000	35 000	98 000	125 000	126 000	82 000
SÖDRA NOL	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Q_{medel} (m^3/s)	430	448	543	632	680	563
SSC_{oorg_medel} (mg/l)	3,7	2,4	2,3	10,7	9,9	6,8
TSS_{oorg_tot} (ton/år)	50 862	34 628	44 406	169 699	223 600	128 497
TSS_{tot} (ton/år) avrundat	51 000	35 000	44 000	170 000	224 000	128 000
SURTE	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Q_{medel} (m^3/s)	149	155	161	178	178	165
SSC_{oorg_medel} (mg/l)	3,0	3,3	2,7	6,2	5,6	5,0
TSS_{oorg_tot} (ton/år)	14 365	17 673	14 802	33 585	32 194	27 428
TSS_{tot} (ton/år) avrundat	14 000	18 000	15 000	34 000	32 000	27 000

Tabell 9. Beräknad transport oorganiskt suspenderat material (TSS_{oorg}) baserat på turbiditet vid mätstation Lärjeholm, under 2002-2009.

LÄRJEHOLM	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Q_{medel} (m3/s)	158	145	149	155	161	178	178	165
SSC_{oorg_medel} (mg/l)	4,3	3,5	4,8	5,0	5,3	5,4	6,4	3,8
TSS_{oorg_tot} (ton/år)	21448	16 305	22 477	25 335	27 913	30 635	37 091	20 769
TSS_{tot} (ton/år) avrundat	21 000	16 000	22 000	25 000	28 000	31 000	37 000	21 000

Tabell 10. Sammanställning av TSS_{oorg}, tillsammans med årsmedelflöde och årsnederbörd. Den streckade linjen avser skiljelinje för förgreningen.

TSS_{oorg} (ton/år)	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Gäddebäck	-	15 000	62 000	71 000	69 000	53 000
Garn	39 000	35 000	98 000	125 000	126 000	82 000
S.Nol	51 000	35 000	44 000	170 000	224 000	128 000
Surte	14 000	18 000	15 000	34 000	32 000	27 000
Lärjeholm	22 000	25 000	28 000	31 000	37 000	21 000
Q_{medel} (m3/s)	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**
Vargön	448	441	516	600	658	542
Lilla Edet	430	448	543	632	680	563
Gbg-grenen	149	155	161	178	178	165
P tot (mm)						
Göteborg A*	907	819	1264	1036	1059	855

* Nederbördsdata från www.smhi.se.

Tabell 11. Beräknad transport totalt suspenderat material (TSS_{tot}). Den streckade linjen avser skiljelinje för förgreningen. Beräkningarna är baserade på turbiditet vid mätstationerna Gäddebäck, Garn, Södra Nol och Surte och Lärjeholm under 2004/2005-2009. Mängderna är beräknade utifrån korrelationssambandet mellan turbiditet och suspenderad halt (totalt).

TSS_{tot} (ton/år)	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Gäddebäck	-	18 000	70 000	82 000	80 000	60 000
Garn	45 000	39 000	111 000	141 000	143 000	93 000
S.Nol	58 000	39 000	51 000	191 000	251 000	145 000
Surte	16 000	20 000	16 000	38 000	37 000	31 000
Lärjeholm	26 000	29 000	32 000	35 000	42 000	24 000

Den betydligt lägre materialtransporten år 2005 kan förklaras av ett lägre tillskott från Vänern (se även **Bilaga 2**) vilket troligen hänger samman med mindre årsnederbörd det året. För år 2006 visar siffrorna på en minskning i materialtransport mellan station Garn och Södra Nol, likaså för år 2007, men framförallt år 2009 framgår en minskning mellan station Surte och Lärjeholm (se vidare under avsnitt 6.1).

En grov uppskattning på tillskott längs älven kan göras genom att subtrahera beräknade årstransporter och om vi utgår ifrån att alla data är korrekta kan vi ta ett medel för 2004-2009 (**Tabell 12**).

Tabell 12. Grov uppskattning av materialtillskott baserat på medelvärden TSS_{oorg} för år 2004-2009 (TSS_{tot} angivet inom parantes).

Station	TSS_{oorg} (TSS_{tot}), ton/år	Differens
Gäddebäck	54 000 (62 000)	Inkommande från Vänern
Garn	84 000 (95 000)	30 000 (33 000)
S.Nol	109 000 (123 000)	25 000 (28 000)
Surte	23 000 (26 000)	86 000 (97 000) till Nordre älv
Lärjeholm	27 000 (31 000)	4 000 (5 000)

6 UTVÄRDERING OCH JÄMFÖRELSE MOT TIDIGARE UTREDNINGAR

6.1 Turbiditet och provtagning inom föreliggande utredning

Gäddebäck är lokaliserat strax söder om Vänersborg, precis i början av Göta älv nedströms Vänern, och mängden suspenderat material utgör här således till stor del av vad som tillförs via Vänern. Fem år är jämförda och mängden varierar stort mellan åren, vilket sannolikt beror på styrande processer i Vänerns avrinningsområde. Medeltransporten för de fem åren är 62 kton/år, varav 54 kton/år avser oorganiskt material, vilket ligger i samma härad som de 45 kton/år oorganiskt material beräknade av Sundborg & Norrman (1963).

Garn är lokaliserat ett par kilometer nedströms Lilla Edet. Masstransporten varierar kraftigt mellan de sex jämförda åren men samvarierar med den för Gäddebäck. Medeltransporten för de sex åren är 95 kton/år, varav 84 kton/år är oorganiskt material. Sundborg & Norrman uppskattade 70 kton/år oorganiskt material uppströms Lilla Edets sluss.

Södra Nol är beläget 7 km uppströms förgreningen och borde motsvara transporten för hela Göta älv uppströms denna. Även här varierar masstransporten kraftigt mellan åren och följer i princip Garn, med undantag för år 2006. Medeltransporten för de sex åren är 123 kton/år, varav 109 kton/år är oorganiskt material, vilket är i samma nivå som beräknats av Sundborg & Norrman för hela Göta älv (dock är deras beräkning baserad på vad som uppmätts vid Lärjeholm och som sedan har utportionerats på Nordre älv).

För Södra Nol skiljer sig år 2006 mot övriga år på så sätt att mängden suspenderat material som transporteras i älven minskar betydligt mellan Garn och Södra Nol. Det är oklart varför differensen är så stor och om det är rimligt att det skulle ha sedimenterat ca 60 kton mellan Garn och Södra Nol under ett år, vilket skulle innebära ca 6 mm sediment[3]. Det är möjligt att det är instrumentfel men det är inget i datamaterialet som tydligt visar att det skulle vara en kontinuerlig felregistrering det året. Det skulle också kunna vara stationens placering och/eller placeringen av vattenintaget för turbiditetsmätning.

Surte är beläget ca 3 km nedströms förgreningen och ca 9 km uppströms Lärjeholm. Sedimenttransporten vid Surte varierar mellan de sex jämförda åren men ger en medeltransport på 26 kton/år, varav 23 kton/år är oorganiskt material. Differensen mellan Södra Nol och Surte borde ge en indikation på vilka mängder som går ut i Nordre älv och i föreliggande fall innebär det i medeltal 72 %.

Lärjeholm är råvattenintaget för dricksvatten och den mest nedströms liggande provtagningspunkten och får därmed representera sedimenttransporten för Göteborgsgrenen. Medeltransporten för de sex jämförda åren är 31 kton/år varav oorganiskt material avser 27 kton/år, vilket är något under den av Sundborg & Norrman för Göteborgsgrenen (50 kton/år). Masstransporten varierar mellan åren och för åren 2007 och 2009 har mängden material minskat på sträckan Surte-Lärjeholm, vilket skulle innebära att ca 1 mm har sedimenterat på denna sträcka. En möjlig teori är att tillfällen med saltvattenuppträngning orsakar aggregation, vilket innebär att partiklarna lättare sjunker till botten. Därtill påverkar bildandet av aggregat turbiditeten på så sätt att den blir lägre.

Vid jämförelse med beräknade årsmängder stationer emellan framgår tydligt att det dels sker ett inflöde från Vänern, dels att det generellt sker en tillförsel av material längs älven. Sambandet mellan Gäddebäck och Garn är i det närmaste 1 (r = 0,98, **Tabell 13** och **Tabell 14**) vilket visar att Vänern har stor påverkan på basnivån av suspenderat material som transporteras längs älven.

[3] Älvsträckan är ca 19 km och med en snittbredd på 200 m ger det en area på 3,8 km^2, vi antar att materialmängden i kompaktform har en densitet på ca 2,6 t/m^3. Om vi istället antar att det är löst lagrat är densiteten ca 1,6 t/m^3, vilket ger ca 10 mm.

Likaså finns ett starkt samband mellan Surte och Södra Nol, vilket visar att transporten suspenderat material i Göteborgsgrenen är påverkat av styrande processer uppströms förgreningen.

Vid jämförelse på årsmedelbasis framgår signifikanta starka samband mellan flöde och suspensionshalt för Södra Nol och Surte. Icke signifikanta samband kan vara ett resultat av få årsmedelvärden (dvs. för få antal år som är jämförda). Ett starkt men icke signifikant samband återfinns för station Garn och Södra Nol, måttliga men icke signifikanta samband återfinns för stationerna Gäddebäck och Lärjeholm. Ett måttligt samband vid Gäddebäck kan förklaras av att stationen är belägen precis i början av älven och att det mesta av materialet därmed härrör från Vänern och dess avrinningsområde. Ett måttligt samband vid Lärjeholm kan beror på inverkan av havsvattenstånd och saltvattenpåverkan.

Korrelation mellan beräknade årsmedelkoncentration oorganiskt suspenderat material (SSC_{oorg}) och årsmedelflöde Q redovisas i **Figur 6**.

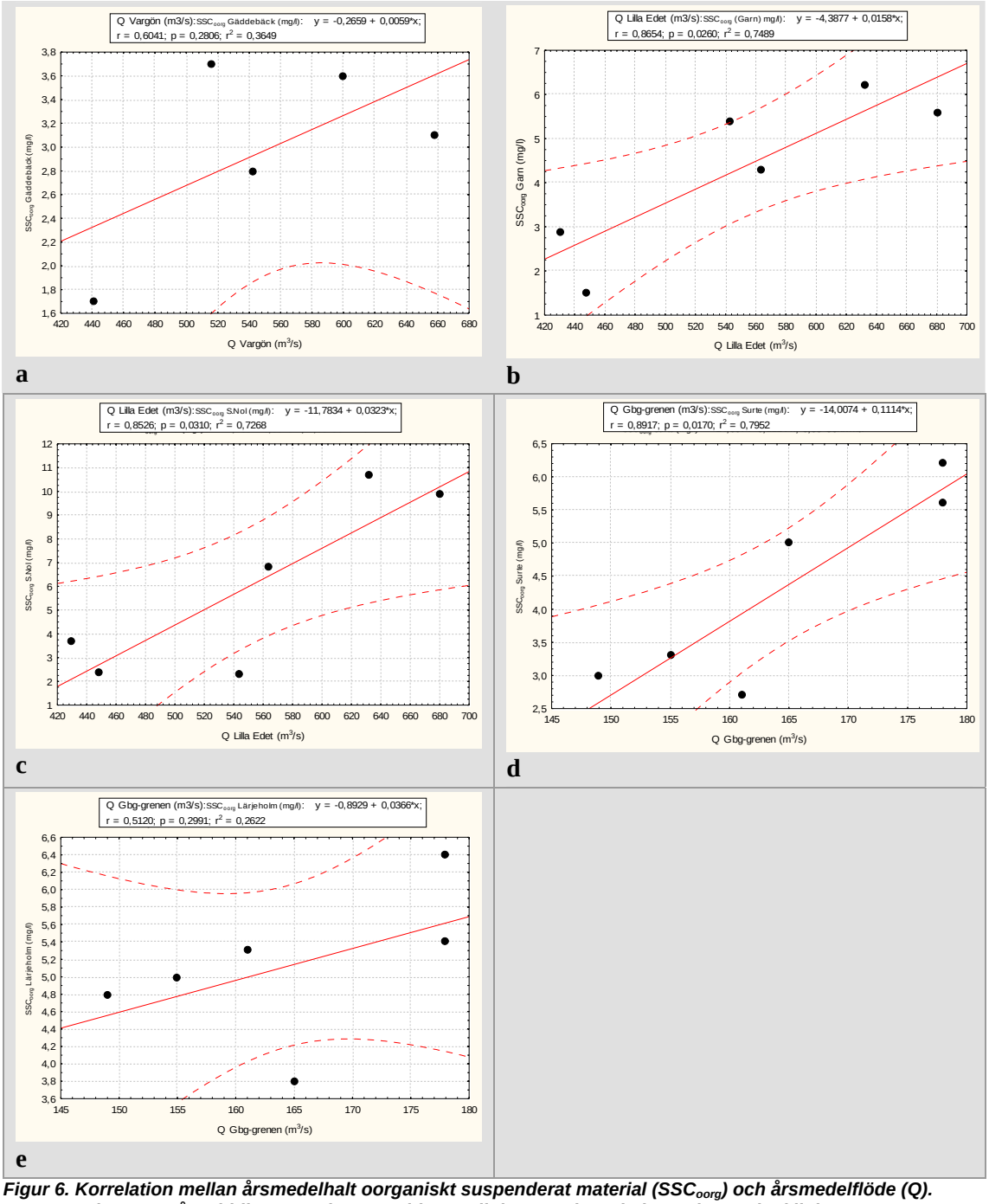
Tabell 13. Korrelation årstransporter (ton/år) 2005-2009 oorganiskt suspenderat material mellan mätstationer. Signifikant korrelation (p<0,05)[4] är markerade med fet kursiv stil. Observera att icke signifikanta korrelationer kan vara ett resultat av få värden.

	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=5 (radvis radering av saknad data)				
	Gäddebäck oorg	Garn oorg	S.Nol oorg	Surte oorg	Lärjeholm oorg
Gäddebäck oorg	1,00	***0,98***	0,69	0,58	0,56
Garn oorg	***0,98***	1,00	0,78	0,68	0,71
S.Nol oorg	0,69	0,78	1,00	***0,93***	0,65
Surte oorg	0,58	0,68	***0,93***	1,00	0,47
Lärjeholm oorg	0,56	0,71	0,65	0,47	1,00

Tabell 14. Korrelation årstransporter (ton/år) 2004-2009 totalt suspenderat material mellan mätstationer. Signifikant korrelation (p<0,05) är markerade med fet kursiv stil. Observera att icke signifikanta korrelationer kan vara ett resultat av få värden.

	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=5 (radvis radering av saknad data)				
	Gäddebäck tot	Garn tot	S.Nol tot	Surte tot	Lärjeholm tot
Gäddebäck tot	1,00	***0,98***	0,71	0,59	0,55
Garn tot	***0,98***	1,00	0,78	0,66	0,68
S.Nol tot	0,71	0,78	1,00	***0,94***	0,63
Surte tot	0,59	0,66	***0,94***	1,00	0,44
Lärjeholm tot	0,55	0,68	0,63	0,44	1,00

[4] P-värde är ett mått på hur säker man kan vara att förkasta eller behålla en nollhypotes (i korrelation är nollhypotesen att det inte finns något samband mellan variablerna) och vanligen vill man nå ett P-värde lägre än 0,05 (dvs. 95 %-konfidensnivå). En stark korrelation men ett P-värde högre än 0,05, dvs. icke signifikant korrelation, indikerar att korrelationen är falsk.



Figur 6. Korrelation mellan årsmedelhalt oorganiskt suspenderat material (SSC_{oorg}) och årsmedelflöde (Q). SSC_{oorg} är baserat på turbiditetsmätningar. Heldragen linje avser korrelation och streckad linje avser 95%-konfidensområde för regression. Fig. a) SSC_{oorg} Gäddebäck vs Q Vargön, b) SSC_{oorg} Garn vs Q Lilla Edet, c) SSC_{oorg} S. Nol vs Q Lilla Edet, d) SSC_{oorg} Surte vs Q Göteborgsgrenen och e) SSC_{oorg} Lärjeholm vs Q Göteborgsgrenen.

6.2 Analys av provtagning inom det nationella övervakningsprogrammet

Beräkning av masstransport som gjorts inom ramen för det nationella övervakningsprogrammet (vidare refererat som PMK[5]) baseras på analys av TS och skiljer sig därmed från SSC, vilket också framgår av de beräknade mängderna. Analyser gjorda inom ramen för denna undersökningen gav en glödgningsrest på 74-98 % (dvs. 2-26 % försvann genom glödgning), medan de

[5] Nationella övervakningsprogrammet hette tidigare Programmet för Miljökvalitetsövervakning (PMK). Göta älvs vattenvårdsförbund refererar provtagningspunkterna till PMK.

inom PMK har givit en glödgningsrest på 41-75 %. Detta visar också att metoderna genererar olika resultat och där TS-analysen får med så gott som samtliga fraktioner medan SSC-analys får med fraktioner över ca 1,6 µm. I SSC fås således inte mindre lerfraktioner, kolloider och lösta ämnen med, en andel som inte är försumbar. Exempelvis är transporten av magnesiumjoner (Mg^{2+}) runt 20 ton/dygn och transporten av nitrit och nitrat tillsammans ca 6 ton/dygn, baserat på värden för Lärjeholm (GÄVVF, 2010), därtill kommer övriga ämnen (klorid, sulfat, kväve, fosfor, järn, tungmetaller, osv). Detta är sannolikt förklaringen till att resultaten skiljer sig stort åt.

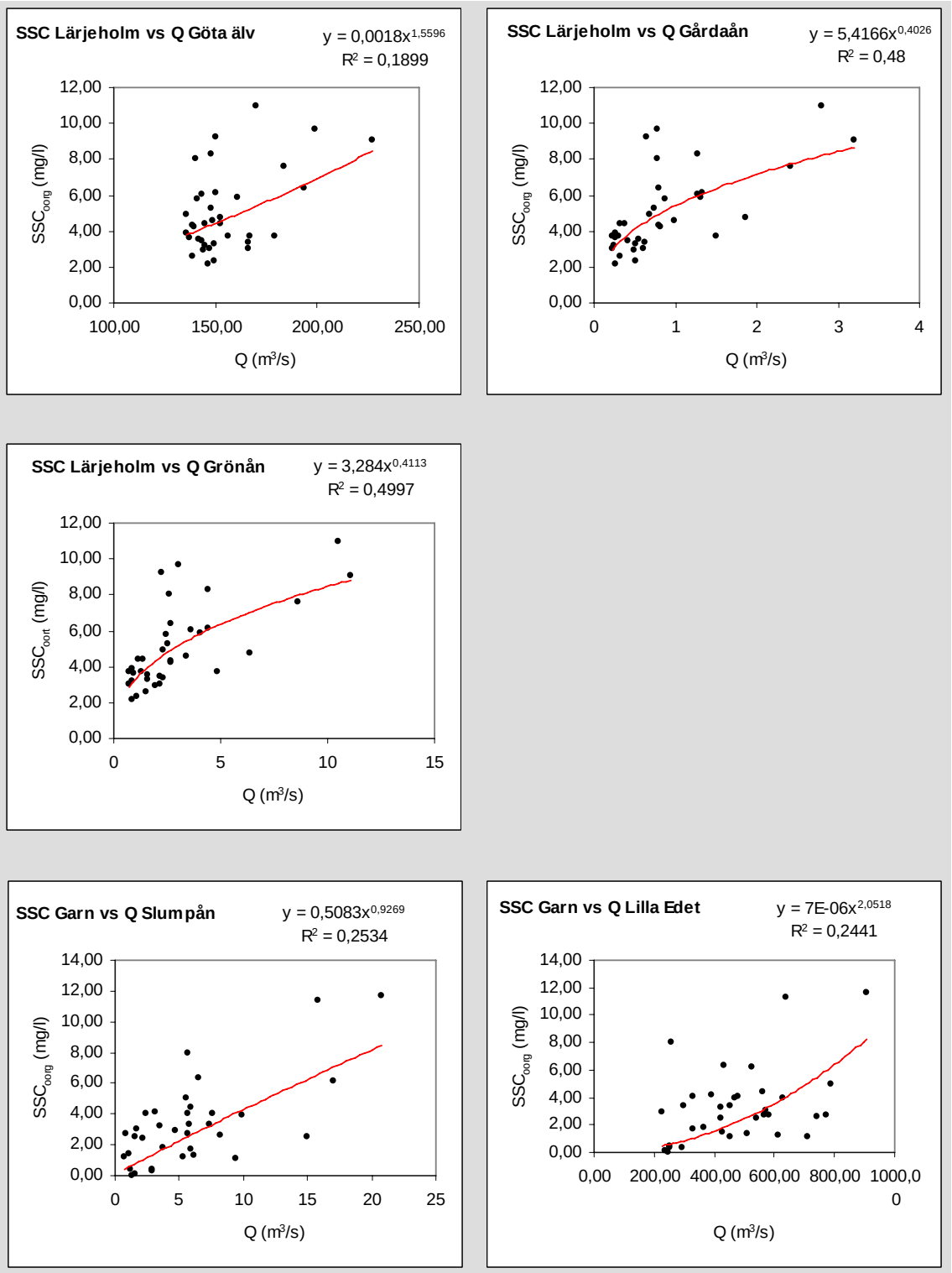
Korrelationsanalys mellan TS för respektive provtagningstillfälle och flöde och nederbörd vid provtagningstillfället för TS visade inte på något signifikant samband. Inget samband kunde återfinnas mellan TS och nederbörd. Möjligen beror det på att det dels är en tidsfördröjning från det att nederbörd genererar utspolning (yterosion) av material, dels att det krävs en viss varaktighet/kontinuitet i nederbörden för att generera materialtransport (Göransson et al., Submitted 2011). Därtill kan, i ett så reglerat vattendrag som Göta älv där flödet varierar under dygnet, stickprov bli missvisande då det är mycket känsligt för lokal påverkan och enbart gäller för den tidpunkt provet är taget. Dygns-, vecko- och månadsmedelvärden jämnar ut korta lokala påverkan (båttrafik, tillfälligt utsläpp, dygnsvariation i flödesreglering osv.).

6.3 Sedimentavbördningskurvor

Syftet med sedimentavbördningskurvor (*eng. sediment rating curves*) är att bedöma materialtransporten vid förändrade flöden under en längre tid, den är inte användbar för korta tidsintervaller. Sedimentavbördningskurvor är beskrivna som icke linjära power-funktioner och bygger på att det finns ett tydligt samband mellan flöde och halten suspenderat material. Så är dock inte riktigt fallet för Göta älv då flödet i älven är ett resultat av reglering och inte har någon tydlig koppling till lokal nederbörd (Göransson et al., Submitted 2011). Sedimentavbördningkurvor är framtagna för månadsmedelvärden baserade på dygnsmedelvärden för turbiditet åren 2004-2006 och korrelationen mellan turbiditet och SSC, samt baserat på timmedelvärden för flöde. Sedimentavbördningskurvor avser älven nedströms Lilla Edet (Garn) och Göteborgsgrenen (Lärjeholm), samt med avseende på flödet i ett par biflöden. Resultaten framgår av **Figur 7**. Därtill har linjär korrelation på månadsmedelvärdena gjorts vilket visar på måttliga till starka signifikanta samband för samtliga variabler (**Tabell 15**).

Av kurvorna framgår att förhållandet mellan materialtransport och flödet i älven har ett svagt samband och att ett något starkare samband finns med flödet i biflödena. Generellt tyder ett svagt samband med flöde på att det suspenderade materialet till stor del härrör från uttransporterat material (*eng. wash load*), sannolikt både från ytavrinning och suspenderade sediment från biflödena men också från Vänern. En mindre del (därmed inte sagt obetydlig) bör således utgöras av bottenerosion. Biflödena har en snabbare respons på nederbörd och genererar därmed en något starkare korrelation mellan halten suspenderat material i älven och flödet i biflödena.

Indirekt är flödet i älven beroende av nederbörd men eftersom Vänern fungerar som ett utjämningsmagasin är inte responsen direkt, därtill har energibehovet ett stort inflytande över vilka mängder som tappas vid kraftstationerna. På årsbasis har dock nederbörden över Vänerns avrinningsområde inverkan på flödet i älven med ett starkare samband mellan transporten suspenderat material och flöde som följd. Troligen sker en ”baserosion” i älven men den ger inte det största bidraget till halten av suspenderat material. Stora variationer av suspenderat material är ett resultat av vad som händer runt omkring (erosion i biflöden, ytavrinning osv.). Hade älven varit oreglerad hade troligen en mer direkt respons mellan nederbörd och flöde kunnat noterats samt mellan flöde och grumlighet.



Figur 7. Sedimentavbördningskurvor baserade på månadsmedelvärden 2004-2006 och beräknad SSC_{oorg} utifrån turbiditet.

Tabell 15. Korrelation mellan dygnsmedelvärden för flöde och turbiditet, samt oorganiskt suspenderat material utifrån turbiditet. Signifikant korrelation (p<0,05) är markerade med fet kursiv stil. Halter angivna i mg/l är beräknade utifrån korrelation.

	Korrelation Markerad korrelation är significkant vid p < ,05000 N=36 (radvis radering av saknad data)									
	Means	Grönån (m^3/s)	Gårdaån (m^3/s)	Göta älv (m^3/s)	Lärjeholm (FNU)	Lärjeholm (mg/l)	Slumpån (m^3/s)	Lilla Edet (m^3/s)	Garn (FNU)	Garn (mg/l)
Grönån (m^3/s)	2,99	1,00	***0,99***	***0,61***	***0,68***	***0,68***	***0,96***	***0,55***	***0,72***	***0,72***
Gårdaån (m^3/s)	0,87	***0,99***	1,00	***0,61***	***0,67***	***0,67***	***0,97***	***0,54***	***0,71***	***0,71***
Göta älv (m^3/s)	155,02	***0,61***	***0,61***	1,00	***0,49***	***0,49***	***0,59***	***0,92***	***0,48***	***0,48***
Lärjeholm (FNU)	6,95	***0,68***	***0,67***	***0,49***	1,00	***1,00***	***0,63***	***0,45***	***0,68***	***0,68***
Lärjeholm (mg/l)	5,04	***0,68***	***0,67***	***0,49***	***1,00***	1,00	***0,63***	***0,45***	***0,68***	***0,68***
Slumpån (m^3/s)	5,73	***0,96***	***0,97***	***0,59***	***0,63***	***0,63***	1,00	***0,55***	***0,70***	***0,70***
Lilla Edet (m^3/s)	474,61	***0,55***	***0,54***	***0,92***	***0,45***	***0,45***	***0,55***	1,00	***0,43***	***0,43***
Garn (FNU)	5,15	***0,72***	***0,71***	***0,48***	***0,68***	***0,68***	***0,70***	***0,43***	1,00	***1,00***
Garn (mg/l)	3,21	***0,72***	***0,71***	***0,48***	***0,68***	***0,68***	***0,70***	***0,43***	***1,00***	1,00

6.4 Kompletterande analyser av turbiditeten längs Göta älv

Under utredningens gång har det framkommit behov att av studera vissa förhållanden som kan påverka turbiditet och sedimenttransport i älven. Slutsatserna av dessa kompletterande studier redovisas nedan och mer detaljerat i Bilaga 1 och 2.

Analys av extrem tappning år 2001
I syfte att undersöka om extrem tappning genererar en tydlig ökning av grumligheten gjordes en jämförelse mellan det extrema flödet vintern 2001 (från sen höst 2000 t.o.m. vintern 2001) och turbiditeten under samma period. En jämförelse gjordes även med år 2007 och 2005 som var två andra år med tydligt ökat vinterflöde. Sammanfattningsvis visar resultaten inte på något tydligt samband mellan extrem tappning och turbiditet.

Resultatet redovisas närmare i **Bilaga 1**.

Analys av turbiditet för fyra förhållanden
Föreliggande utredning kompletterades också med fyra detaljstudier av turbiditeten som omfattade:

1. Turbiditetsvariationer längs älven, utifrån hypotesen att turbiditeten i en station till stor del beror på turbiditeten i det från Vänern inkommande vattnet men att turbiditeten också ökar nedströms längs älven.
2. Fartygsinducerad turbiditet, utifrån hypotesen att fartygen orsakar stora turbiditetstoppar i områden med mjuka bottnar.
3. Fartygsfria perioder, utifrån hypotesen att fartygens vågor orsakar förhöjd turbiditet. Därmed bör turbiditeten vara lägre under perioder utan fartygstrafik.
4. Perioder med snö, utifrån hypotesen att turbiditeten längs älven beror på tillrinningen längs älven och därmed bör turbiditeten var låg under perioder utan tillrinning.

Sammanfattningsvis bekräftar detaljstudierna att ett betydande basflöde inkommer från Vänern men att tillförsel sker längs älven. Turbiditetstopparna från fartygspassager är större för stationerna längre nedströms älven och eventuellt även relaterade till andelen mjuka bottnar vid stationen. Sannolikt är det dock inte fartygstrafiken som orsakar den ökningen av turbiditetens basnivå nedströms längs älven som här har kunnat noterats. Analys av perioder med snö gav inget entydigt resultat.

Resultatet redovisas närmare i **Bilaga 2**.

7 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Beräkning av transporten av suspenderat material har gjorts baserad på turbiditetsdata från Göteborg Vattens kontrollstationer längs Göta älv och baserad på en korrelation mellan turbiditet och koncentration av suspenderade sediment vid en av dessa kontrollstationer. Resultaten har jämförts mot utredningen av Sundborg & Norrman (1963), de analyser på torrsubstans som görs inom ramen för det nationella övervakningsprogrammet (PMK) och som redovisas av Göta älvs vattenvårdsförbund (GÄVVF, 2010), den analys av suspenderad halt som genomfördes av SMHI inom ramen för Göta älvutredningen (SMHI, 2010), samt en konsultutredning (Westberg, 2010). Samtliga beräkningar visar delvis olika resultat och det finns några förklaringar till det. Bland annat är provtagningarna gjorda på olika nivåer och i olika delar av en tvärsektion vilket gör att det suspenderade materialet representerar olika transportmekanismer och olika innehåll. Därtill, och framförallt, skiljer sig analyserna åt på så sätt att olika maskvidd används vid filtrering. Prover analyserade via PMK har inte filtrerats alls. Utredningen av Sundborg & Norrman avser enbart glödgningsrest medan övriga redovisar suspenderad halt inklusive glödgningsrest samt även glödgningsrest separat. Denna information samt resultat sammanfattas i **Tabell 16** och **Tabell 17.**

Tabell 16. Sammanställning av genomförda utredningar.

Utredning	Lokal	Analys	Tidsserie	Trolig transportmekanism
Föreliggande	Mätstationer Göteborg Vatten (Gäddebäck, Garn, Södra Nol, Surte, Lärjeholm)	Turbiditetsvärden: dygnsmedel från minutmedel, intag > 1 m över botten (> 2 m djup), östra sidan av älven Vattenprov för analys av suspensionshalt på samma vatten som turbiditet Glasfiberfilter 1,6 µm Susp. samt glödrest Q från kraftstationer	2004/2005-2009	Suspension
Sundborg & Norrman (1963)	Vargön, Hjulkvarn, Lilla Edet uppströms slussar, Lärjeholm, Nordre älv	Stickprov, 1 m under vattenytan, mitten Membranfilter 0,5 µm Enbart glödgningsrest Q bestämd i fält	1962-1963	Suspension inkl. utspolat
SMHI (2010)	Söder om Trollhättan, Kungälv innan förgrening.	Stickprov profil, medel över hel profil Glasfiberfilter 1,6 µm Susp. inkl glödgningsrest Q från kraftstationer	2010 Två tillfällen: augusti och november	Suspension inkl. utspolat samt susp. bottentransport
PMK/GÄVVF **(GÄVVF, 2010)**	Lärjeholm Ormo	Stickprov Ormo ca 0,5 m under vattenytan, ca mitten. Lärjeholm > 1 m över botten, östra sidan av älven Torkning TS samt glödgningsrest Q från kraftstationer	2002-2009	Suspension inkl utspolat
Marin miljöanalys AB **(Westberg, 2010)**	Marieholm	Stickprov, precis över botten Bottenprofil Maskvidd 125 µm Q bestämd i fält	2010 Ett tillfälle	Bottentransport

Tabell 17. Beräknad medeltransport oorganiskt suspenderat material, (totalhalt inom parentes) för de olika utredningarna. Mängd anges i kton/år.

Utredning	Mätstation och mängd						
Föreliggande **Medelvärde för 6 år (Gäddebäck 5 år)**	Gäddeb. 54 (62)		Garn 84 (95)	Södra Nol 109 (123)	Surte 23 (26)	Lärjeholm 27 (31)	
Sundborg & Norrman (1963)	Vargön 45	Hjulkvarn 50	Lilla Edet 70			Lärjeholm 50	N. älv* 80
SMHI (aug. 2010)		Trollh. 75		Kungälv 137			
SMHI (nov. 2010)**		Trollh. 1205 (1321)		Kungälv 982 (1089)		Lärjeholm 213 (233)	Ormo 577 (637)
PMK (GÄVVF, 2010) **Medelvärde TS för 8 år**						Lärjeholm 317 (473)	Ormo 487 (753)
Marin Miljöanalys AB (Westberg, 2010)						Marieh. 0,15-6	

* Värden för Lärjeholm utproportionerade på Nordre älv.
** Observera att det vid tiden för provtagningen var mycket hög grumlighet i älven och att utproportionera det över ett helt år blir missvisande.

Den totala transporten av suspenderat material i Göta älv består av suspenderat material, inklusive utspolat material samt bottentransport. Därtill kommer små lerpartiklar, kolloider och lösta ämnen som inte ingår i bestämning av suspenderad halt men som ingår i bestämning av TS. Eftersom inte halten suspenderat material är jämnt fördelad över en tvärsektion har det även betydelse var i sektionen provet är taget. Sundborg & Norrman samt PMK för Ormo avser relativt ytliga prov (1 respektive 0,5 m under vattenytan) och inblandning av s.k. utspolat material bör vara högre än i övriga. Om så är fallet kan en något för hög halt ha superponerats över hela tvärsektionen, vilket därmed skulle ge en något överskattad mängd. Beräknad masstransport utifrån turbiditeten underskattar sannolikt den totala transporten då delar av det utspolade materialet inte fångas upp (beror dock på hur turbulent strömningen är), likaså kan delar av bottentransporten missas. Däremot ger resultaten en information om variationen i tid och rum. Beräkningarna utifrån SMHI:s provtagningar skiljer sig stort sinsemellan. Vid novemberprovtagningen var grumligheten i älven mycket hög då det hade varit regnigt en längre tid och att använda novemberresultaten för beräkningar av årstransport ger således en alldeles för hög materialtransport. Dock visar SMHI:s provtagningar att grumligheten och därmed materialtransporten kan variera stort mellan olika tillfällen. November månad är därtill den månad med signifikant samband mellan grumlighet, flöde och nederbörd (Göransson et al., Submitted 2011) vilket beror på höstens nederbörd och höstens förmultning av växter.

Eftersom det är en tydlig samstämmighet mellan suspenderat material och turbiditet borde beräknad transport av suspenderat material utifrån turbiditeten vara den som ligger sanningen närmast eftersom dagar med både mycket och lite material finns med i beräknad medelkoncentration. Det finns inga kontinuerliga turbiditetsmätningar i Nordre älv men om förhållandet mellan Ormo och Lärjeholm från SMHI:s novembermätningar antas stämma för andra tillfällen kan det förhållandet användas för att uppskatta transporten av suspenderat material i Nordre älv. I föreliggande fall kan beräknade mängder i Lärjeholm multipliceras med 2,7, vilket genererar en mängd på 73 kton/år av oorganiskt material, 84 kton/år totalt. Detta är i samma nivå som uppskattats av Sundborg & Norrman (1963).

I en pågående studie baserad på dygnsmedelvärden för turbiditet framgår att sambandet mellan turbiditet och flöde generellt sett är svagt och ibland osignifikant (Göransson et al., Submitted 2011). Jämförs dessa resultat med föreliggande studie framgår att korrelationen är avhängig av vilken tidsskala som används. Månadsmedelvärden baserat på dygnsmedel jämnar ut tillfälliga

toppar och ökar därmed korrelationen, i föreliggande fall är den korrelationen svag till måttlig. I samma studie av Göransson et al (Submitted 2011) påvisas också att grumligheten i älven är beroende av en kombination av flöde och nederbörd där perioder med högt flöde i kombination med mycket nederbörd ger ökad grumlighet men också ger en större variation i grumlighet (enbart högt flöde eller enbart riklig nederbörd ger inte de stora grumlighetsnivåerna). Med det i åtanke kan den stora variationen i masstransport mellan de jämförda åren (**Tabell 10**) till stor del förklaras av nederbördsvariationer i Vänerns avrinningsområde.

Generellt indikerar ett svagt samband med flöde att sedimenttransporten huvudsakligen domineras av utspolat material (Van Maren D et al., 2009). För Göta älvs del är det troligen så att ett starkare samband mellan stor mängd suspenderat material och högt flöde återfinns i kombination med långvariga regn. Det i sin tur indikerar att det är omgivningens respons på nederbörd som ger de stora variationerna i mängden suspenderat material (bortsett från de enstaka tillfällena med skred i älven).

Det finns studier som visar på att suspenderat material kan utgöra över 90 % av den totala sedimenttransporten (Asselman, 2000; Iadanza and Napolitano, 2006) och av detta kan det utspolade materialet (*wash load*) utgöra 85-95 % (Asselman, 2000; Nakamura et al., 1997). Det så kallade utspolade materialet har ingen koppling till flödesparametrar (Belperio, 1979), varför heller inget tydligt samband kan förväntas dem emellan. Däremot har det samband med processer som pågår uppströms (Kathryn et al., 2004) och beror på omgivande geomorfologi och vegetation och dess respons på nederbörd. Suspenderad bottentransport[6] har å andra sidan stark koppling till flödesparametrar. Odifferentierad provtagning av suspenderat material kan således leda till otydlig tolkning av sedimenttransporten. Det är förmodligen också det som syns i de varierande resultaten.

Vid jämförelse mellan årsmedelflöde och årsmedelvärde på koncentrationen suspenderat material framgår ett starkt samband variablerna emellan. Detta bekräftar ovanstående och kan förklaras av att nederbördens inverkan på Vänerns avrinningsområde på årsbasis gör avtryck i flödet där Vänerns vattenstånd har betydande inverkan på det reglerade flödet. Eftersom Vänern fungerar som ett utjämningsmagasin är responsen på flödet trögt och ger inte någon synlig effekt på kortare tidsintervall som dygn, veckor eller månader.

Följande slutsatser kan dras, vilka mer eller mindre bekräftas av Sundborg och Norrman (1963):

- Den totala transporten av suspenderat material för hela Göta älv (utloppet Nordre älv och Göteborgsgrenen) ligger sannolikt över 120 000 ton/år. Ett medeltal på transport av suspenderat material innan förgreningen, uppskattas till ca 123 kton/år (varav ca 109 kton/år oorganiskt) och i Göteborgsgrenen till ca 31 kton/år (varav ca 27 kton/år oorganiskt), med stora variationer mellan olika år.
- Ungefär 70 % av transporten av suspenderat material uppströms förgreningen transporteras ut genom Nordre älv, med en variation mellan 49-85 % för de jämförda åren.
- Ett basflöde av suspenderat material inkommer från Vänern. Detta basflöde varierar i storlek beroende på processer i Vänerns avrinningsområde.
- Stor variation i masstransport mellan olika år där år med riklig nederbörd ger avtryck i flödet (i älven och i biflödena) och transporten suspenderat material.
- De stora variationerna i mängden suspenderat material (undantaget skred) är sannolikt ett resultat av variationer i tillförsel från Vänern, av utspolat material från omgivningen och biflödena till följd av nederbörd samt erosion i biflödena, dvs. variationer i mängden suspenderat material är mer nederbördsstyrt än flödesstyrt.
- Generellt tillförs material längs älven, men vid vissa tillfällen finns indikationer på att det kan avsättas betydande mängder i de södra delarna. Det är dock oklart om det är ett resultat av förändringar i flödesregim, mätstationens placering eller ett kontinuerligt mätfel.

[6] Avser suspenderat material som rör sig ganska nära botten men som inte är bottentransport.

- De processer som verkar i omgivande mark och i biflöden har inverkan på den totala materialtransporten i älven.

Baserat på föreliggande studie, Sundborg och Norrmans studie (1963), samt studier av fartygsinducerad erosion i älven (Althage, 2010; Larsen, 1995; Larsen, 1996) dras också följande slutsats:

- Det sker sannolikt en baserosion i älven men den är inte så stor att den ger ett tydligt avtryck i flödet, dvs. signalen drunknar i det utspolade materialet. Det är dock rimligt att anta att den, tillsammans med fartygsinducerad erosion, har inverkan på släntstabiliteten.

REFERENSER

Althage, J., 2010. Ship-induced waves and sediment transport in Göta river, Sweden., Lund University, Lund.

Andersson, Å., 2010. Personal communication, Åke Andersson, Göteborg Vatten.

Asselman, N.E.M., 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology, 234(3-4): 228-248.

Belperio, A.P., 1979. The combined use of wash load and bed material load rating curves for the calculation of total load: An example from the Burdekin River, Australia. Catena, 6(3-4): 317-329.

Chanson, H., 2004a. Environmental hydraulics of open channel flows. Elsevier.

Chanson, H., 2004b. The hydraulics of open channel flow: an introduction. Elsevier.

Chanson, H., Takeuchi, M. and Trevethan, M., 2008. Using turbidity and acoustic backscatter intensity as surrogate measures of suspended sediment concentration in a small subtropical estuary. Journal of Environmental Management, 88(4): 1406-1416.

Dahlberg, B., 2008. Personal communication with Dahlberg, B. at Göteborg Vatten (Göteborg water).

Gentile, F. et al., 2010. Monitoring and analysis of suspended sediment transport dynamics in the Carapelle torrent (Southern Italy). CATENA, 80(1): 1-8.

GÄVVF, 2010. Göta älvs vattenvårdsförbund: http://www.gotaalvvvf.org/.

Göransson, G., Larson, M. and Bendz, D., Submitted 2011. Analysis of turbidity data from river Göta Älv - Variation in time and space. Journal of hydrology.

Holliday, C.P., Rasmussen, T. and Miller, W.P., 2003. Establishing the Relationship Between Turbidity and Total Suspended Sediment, Georgia Water Resources Conference, University of Georgia.

Håkansson, L., 2006. Suspended particulate matter in lakes, rivers, and marine systems. Department of Earth Siences, Uppsala University, Sweden.

Iadanza, C. and Napolitano, F., 2006. Sediment transport time series in the Tiber River. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 31(18): 1212-1227.

Jansson, M.B., 1988. A Global Survey of Sediment Yield. Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography, 70(1/2): 81-98.

Kathryn, J.A., Jan, A., Anthony, H., Geoff, D.P. and Chris, R.F., 2004. Supply limited sediment transport in a high-discharge event of the tropical Burdekin River, North Queensland, Australia. Sedimentology, 51(1): 145-162.

Larsen, P., 1995. Erosionsskador och skredrisk i Göta älv. Fartygstrafik kontra vattenkraft. US 95:32, Vattenfall AB Vattenkraft.

Larsen, P., 1996. Erosionspåverkan från vågor i Göta älv. Fartygstrafik kontra vattenkraft., Vattenfall AB Vattenkraft.

Lawler, D.M., Petts, G.E., Foster, I.D.L. and Harper, S., 2006. Turbidity dynamics during spring storm events in an urban headwater river system: The Upper Tame, West Midlands, UK. The Science of The Total Environment, 360(1-3): 109-126.

Lenhart, C.F., Brooks, K.N., Heneley, D. and Magner, J.A., 2010. Spatial and temporal variation in suspended sediment, organic matter, and turbidity in a Minnesota prairie river: implications for TMDLs. Environmental Monitoring and Assessment, 165(1): 435-447.

Lin, G.-W. et al., 2011. Impact of rainstorm-triggered landslides on high turbidity in a mountain reservoir. Engineering Geology, 117(1-2): 97-103.

Lopez-Tarazon, J.A., Batalla, R.J., Vericat, D. and Francke, T., 2009. Suspended sediment transport in a highly erodible catchment: The River Isabena (Southern Pyrenees). Geomorphology, 109(3-4): 210-221.

Maillard, P. and Pinheiro Santos, N.A., 2008. A spatial-statistical approach for modeling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed - Brazil. Journal of Environmental Management, 86(1): 158-170.

Nakamura, F., Sudo, T., Kameyama, S. and Jitsu, M., 1997. Influences of channelization on discharge of suspended sediment and wetland vegetation in Kushiro Marsh, northern Japan. Geomorphology, 18(3-4): 279-289.

Néstor, A.G., Lia, C.S. and Maria, C.C., 2001. Planktonic and physico-chemical dynamics of a markedly fluctuating backwater pond associated with a lowland river (Salado River, Buenos Aires, Argentina). Lakes & Reservoirs: Research and Management, 6(2): 133-142.

Oeurng, C., Sauvage, S. and Sánchez-Pérez, J.-M., 2010. Dynamics of suspended sediment transport and yield in a large agricultural catchment, southwest Franc. Earth Surface Processes and Landforms, 35(11): 1289-1301.

Old, G.H. et al., 2003. The impact of a convectional summer rainfall event on river flow and fine sediment transport in a highly urbanised catchment: Bradford, West Yorkshire. The Science of The Total Environment, 314-316: 495-512.

Pavanelli, D. and Bigi, A., 2005. A New Indirect Method to estimate Suspended Sediment Concentration in a River Monitoring Programme. Biosystems Engineering, 92(4): 513-520.

Pavanelli, D. and Pagliarani, A., 2002. SW--Soil and Water: Monitoring Water Flow, Turbidity and Suspended Sediment Load, from an Apennine Catchment Basin, Italy. Biosystems Engineering, 83(4): 463-468.

Pfannkuche, J. and Schmidt, A., 2003. Determination of suspended particulate matter concentration from turbidity measurements: particle size effects and calibration procedures. Hydrological Processes, 17(10): 1951-1963.

SMHI, 2010. Vattenprovtaning och analys av suspenderat material i två sektioner i Göta älv.

Sundborg, Å. and Norrman, J., 1963. Göta Älv Hydrologi och Morfologi med särskild hänsyn till Erosionsprocesserna, SGU (Geological Survey of Sweden).

Tena, A., Batalla, R.J., Vericat, D. and Lopez-Tarazon, J.A., 2011. Suspended sediment dynamics in a large regulated river over a 10-year period (the lower Ebro, NE Iberian Peninsula). Geomorphology, 125(1): 73-84.

Uhrich , M.A. and Bragg, H.M., 2003. Monitoring instream turbidity to estimate continous suspended-sediment loads and yields and clay-water volumes in the upper north Santiam River Basin, Oregon, 1998-2000.

Van Maren D, S., Winterwerp J, C., Wang Z, Y. and Pu, Q., 2009. Suspended sediment dynamics and morphodynamics in the Yellow River, China. Sedimentology, 56(3): 785-806.

WARMICE, 2003. Water resources management in changing environments; the impact of sediment on sustainability (WARMICE).

Wass, P.D. and Leeks, G.J.L., 1999. Suspended sediment fluxes in the Humber catchment, UK. Hydrological Processes, 13(7): 935-953.

Wass, P.D., Marks, S.D., Finch, J.W., Leeks, G.J.L. and Ingram, J.K., 1997. Monitoring and preliminary interpretation of in-river turbidity and remote sensed imagery for suspended sediment transport studies in the Humber catchment. Science of The Total Environment, 194-195: 263-283.

Vericat, D. and Batalla, R.J., 2005. Sediment transport in a highly regulated fluvial system during two consecutive floods (lower Ebro River, NE Iberian Peninsula). Earth Surface Processes and Landforms, 30(4): 385-402.

Vernile, A., Nabi, A.Q., Bonadonna, L., Briancesco, R. and Massa, S., 2009. Occurrence of Giardia and Cryptosporidium in Italian water supplies. Environmental monitoring and assessment : an international journal, 152(1): 203-207.

Westberg, E., 2010. Sedimenttransport vid Marieholm, rev 1.

Winston, W.E. and Criss, R.E., 2002. Geochemical variations during flash flooding, Meramec River basin, May 2000. Journal of Hydrology, 265(1-4): 149-163.

Zonta, R., Collavini, F. and Zaggia, L., 2005. The effect of floods on the transport of suspended sediments and contaminants: A case study from the estuary of the Dese River (Venice Lagoon, Italy). Environment International, 31(7): 948-959.

Åström, J., Pettersson, T.J.R. and Stenström, T.A., 2007. Identification and management of microbial contaminations in a surface drinking water source. Journal of water and health, 05(1): 67-79.

BILAGA 1

ANALYS AV EXTREM TAPPNING ÅR 2001

Vintern 2001 tappades extremt mycket vatten under lång tid till Göta älv (**Bilagefigur 1: 1**) och om det finns ett tydligt samband mellan flöde och turbiditet borde detta framgå av turbiditetsdatan. Anledningen till den extrema avtappningen var den stora nederbörden under hösten 2000 som generade en hög vattennivå i Vänern. Dygnsmedelvärden på flödesdata för åren 2000-2001 finns för Vargön, Trollhättan och Lilla Edet, men saknas för Ormo och därmed Göteborgsgrenen. Även 2007 hölls en relativ lång avtappning under vintern, dock inte lika stor. Det saknas turbiditetsdata för Gäddebäck år 2001 och Skräcklan år 2007 och för att bedöma betydelsen av Vänerns bidrag till suspenderat material har 2001 års turbiditetsvärden också jämförts mot 2005 års turbiditetsvärden (det år som näst efter 2007 hade relativt hög avtappning under en längre tid).

I **Bilagefigur 1: 2-Bilagefigur 1: 4** redovisas flöde, turbiditet och nederbörd för år 2001, 2005 och 2007. Transporterad mängd suspenderat material och glödgningsrest med avseende på mätstation Garn (och korrelation enligt rubrik 5.2) har beräknats för de tre åren och redovisas i **Bilagetabell 1: 1.**

Ett antal korrelationsanalyser är genomförda för att hitta samband mellan turbiditet och flöde dels över ett helt år, dels uppdelat på perioden 1 januari – 30 april då flödet hölls som högst, samt för att hitta samband med vad som tillförs via Vänern.

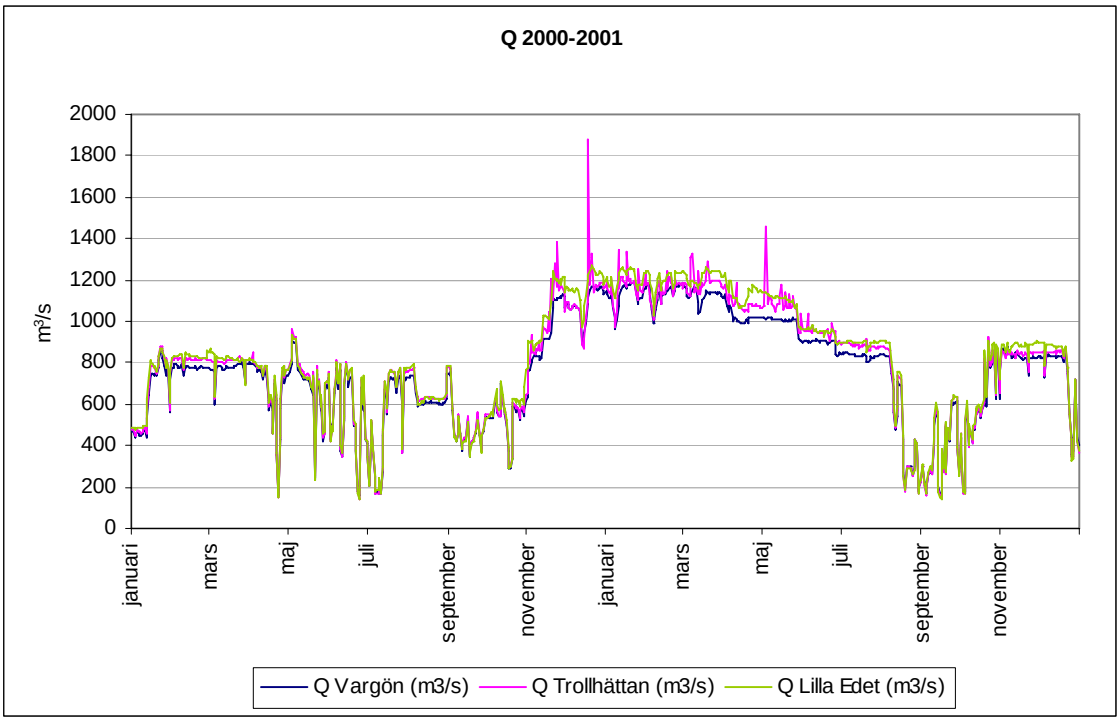
På årsbasis ligger medelvärdet för flöde (Q Lilla Edet), turbiditet (Turb Garn, Turb Lärjeholm) och nederbörd (P Göteborg A) högst år 2001, följt av 2007 och därefter 2005 (**Bilagetabell 1: 1**). Resultaten visar inte på något tydligt samband mellan extrem tappning och turbiditet.

Ett signifikant samband mellan flöde och turbiditet finns för år 2001 och år 2005, dock inte för 2007 som hade en högre tappning än under 2005 (**Bilagetabell 1: 2** och **Bilagetabell 1: 3**), vilket är lite märkligt. Bäst korrelation mellan flöde och turbiditet återfinns för år 2005. På grund av Vänerns magasinerande/fördröjande effekt är det möjligt att flödet får ett större genomslag i turbiditeten för år med lägre årsnederbörd och som föregåtts av år med lägre årsnederbörd. Det skulle i så fall förklara den bättre korrelationen för år 2005 och avsaknaden av korrelation för år 2007 (819 mm år 2005 respektive 907 mm år 2004; 1039 mm år 2007 respektive 1264 mm år 2006; 725 år 2001 respektive 1089 mm år 2000). Anmärkningsvärt är att materialtransporten var lika hög år 2005 som år 2001, trots lägre flöde. Av turbiditetsmätningarna år 2005 framgår att dygnsvärdena överlag ligger högre än de andra två åren.

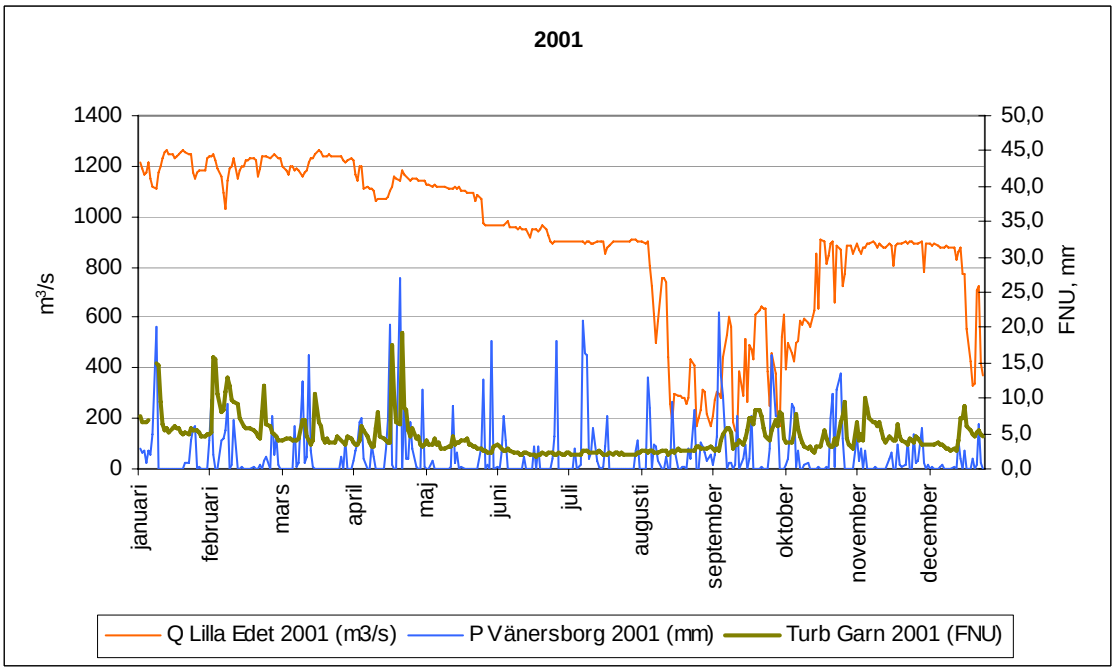
Vid korrelationsanalys mellan turbiditetsstationer framgår att det för år 2001 finns en signifikant korrelation i samtliga stationer med Skräcklan, lokaliserad i Vänern, vilket inte är fallet år 2005 (**Bilagetabell 1: 4**). Detta kan tolkas som att turbiditeten år 2001 är resultat av vad som främst tillförts via Vänerns avrinningsområde på grund av den stora nederbörden under hösten 2000. Turbiditeten år 2005 kan därmed vara en tydligare indikation på vad som tillförs i och längs Göta älv. Samma jämförelse är gjord men med avseende på korrelation mot Gäddebäck och år 2005 och 2007, dock saknas ca hälften av värdena för Gäddebäck år 2005 och helt för perioden 1 januari – 9 maj 2005 vilket medför att jämförelsen kan bli missvisande. Även här framgår emellertid att det saknas ett samband med turbiditeten i Gäddebäck år 2005 (**Bilagetabell 1: 5**), ett samband som finns år 2007.

Den slutliga bedömningen är att det sker en flödespåverkad erosion i älven, men att den signalen försvinner i bruset av vad som tillförs via nederbörd. Eftersom systemet är så trögt på grund av Vänerns stora avrinningsområde och magasinerande kapacitet går det inte att titta på korta perioder för att hitta samband mellan flöde och sedimenttransport. En jämförelse med liknande perioder (flödespuckel utan extrem nederbörd) kan ge information om erosionens storlek. Möjli-

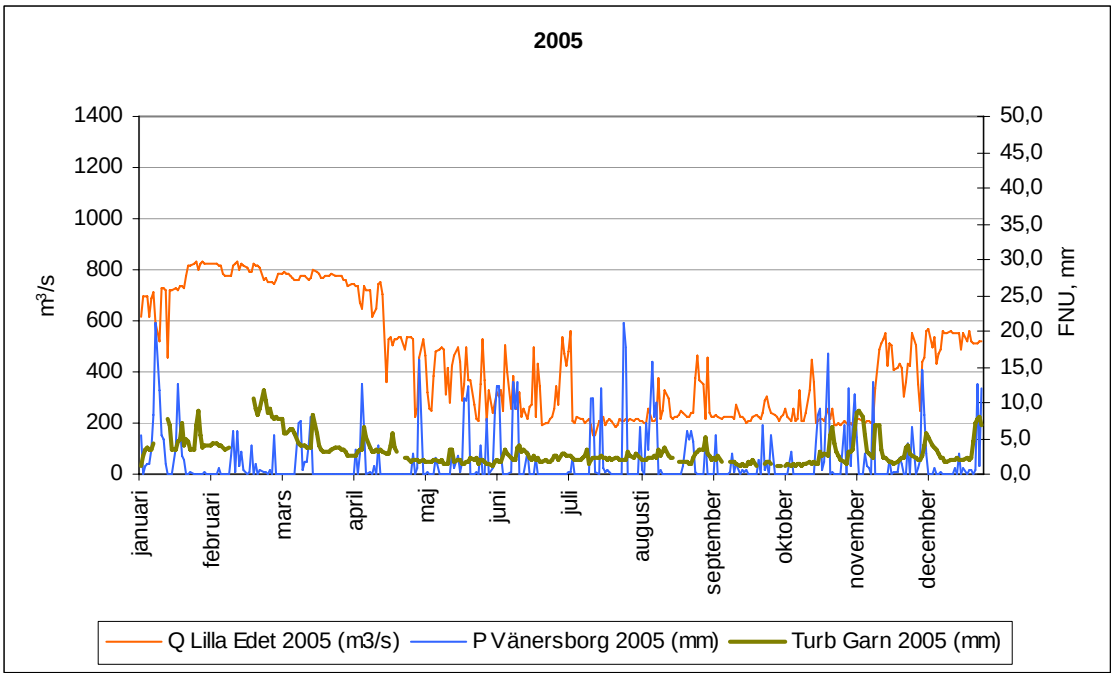
gen kan det vara värt att titta på år 2002 och 2003, år med nederbörd < 1000 mm/år och som föregås av år med <1000 mm/år. Det är dock ingen riktigt tydlig eller homogen flödespuckel under vinterhalvåret för dessa år.



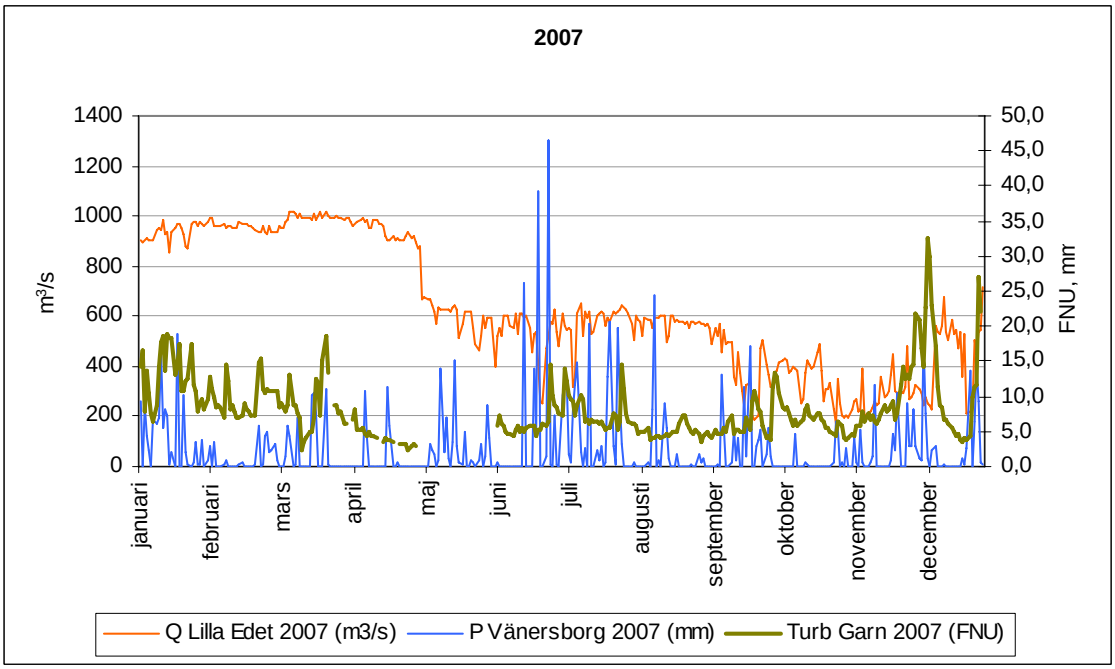
Bilagefigur 1: 1. Flöde (dygnsmedel) Lilla Edet år 2000-2001. Data från Vattenfall, Bispgården.



Bilagefigur 1: 2. Flöde, nederbörd och turbiditet år 2001. Data från Vattenfall, SMHI och Göteborg Vatten.



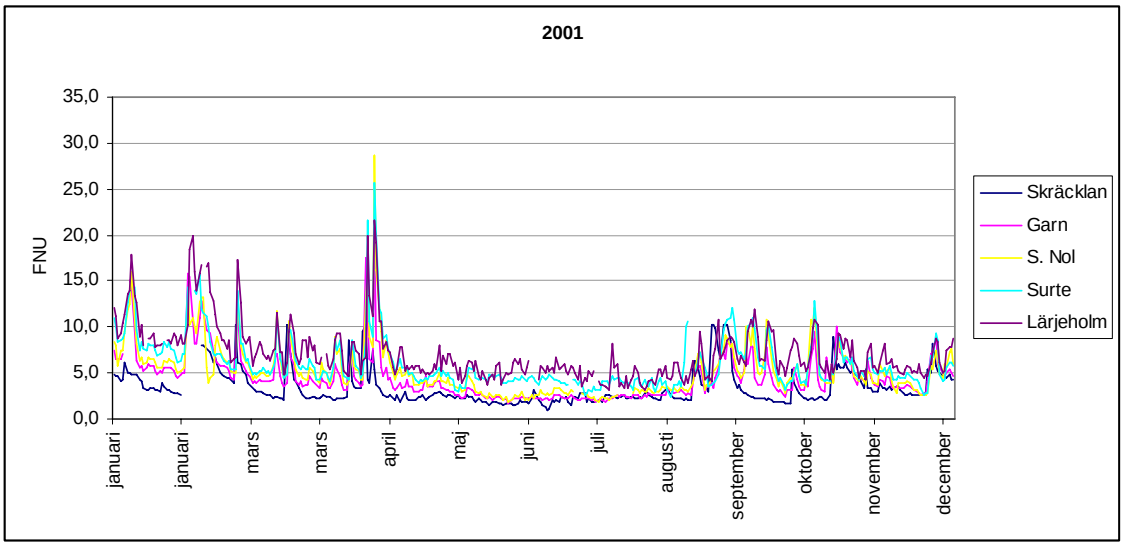
Bilagefigur 1: 3. Flöde, nederbörd och turbiditet år 2005. Data från Vattenfall, SMHI och Göteborg Vatten.



Bilagefigur 1: 4. Flöde, nederbörd och turbiditet år 2007. Data från Vattenfall, SMHI och Göteborg Vatten.

Bilagetabell 1: 1.. Transport suspenderat material vid Garn år 2001 och jämfört med år 2005 respektive 2007.

GARN (TSS)	2001	2005	2007
Q_{medel} (m^3/s) Lilla Edet	907	448	632
SSC_{oorg_medel} (mg/l)	3,0	6,3	7,0
TSS_{oorg} (ton/år)	79 000	80 000	132 000
TSS_{tot} (ton/år)	91 000	90 000	141 000



Bilagefigur 1: 5. Turbiditet flera stationer, år 2001. Data från Göteborg Vatten, Alelyckan.

Bilagetabell 1: 2. Korrelation flöde, turbiditet och nederbörd år 2001, 2005 och 2007. Signifikanta korrelationer (p<0,05) är kursiverade och fetmarkerade. engelska nedan?

2001	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=356 (radvis radering av saknad data)						
	Means	Std.Dev.	Q Lilla Edet 2001 (m3/s)	Turb Garn 2001 (FNU)	Turb Lärjeholm 2001 (FNU)	P Göteborg A 2001 (mm)	P Vänersborg 2001 (mm)
Q Lilla Edet 2001 (m3/s)	902,68	298,14	1,00	***0,24***	***0,34***	-0,07	-0,06
Turb Garn 2001 (FNU)	4,48	2,51	***0,24***	1,00	***0,79***	-0,03	0,03
Turb Lärjeholm 2001 (FNU)	7,05	2,96	***0,34***	***0,79***	1,00	-0,01	0,02
P Göteborg A 2001 (mm)	2,01	4,22	-0,07	-0,03	-0,01	1,00	***0,73***
P Vänersborg 2001 (mm)	2,15	4,15	-0,06	0,03	0,02	***0,73***	1,00

2005	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=338 (radvis radering av saknad data)						
	Means	Std.Dev.	Q Lilla Edet 2005 (m3/s)	Turb Garn 2005 (FNU)	Turb Lärjeholm 2005 (FNU)	P Göteborg A 2005 (mm)	P Vänersborg 2005 (mm)
Q Lilla Edet 2005 (m3/s)	440,27	223,28	1,00	***0,52***	***0,30***	***-0,14***	***-0,14***
Turb Garn 2005 (FNU)	3,16	1,91	***0,52***	1,00	***0,74***	-0,04	-0,04
Turb Lärjeholm 2005 (FNU)	6,64	3,09	***0,30***	***0,74***	1,00	-0,04	-0,07
P Göteborg A 2005 (mm)	2,17	4,54	***-0,14***	-0,04	-0,04	1,00	***0,61***
P Vänersborg 2005 (mm)	1,88	3,75	***-0,14***	-0,04	-0,07	***0,61***	1,00

Forts. bilagetabell 1: 2.

2007	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=322 (radvis radering av saknad data)						
	Means	Std.Dev.	Q Lilla Edet 2007 (m3/s)	Turb Garn 2007 (FNU)	Turb Lärjeholm 2007 (FNU)	P Göteborg A 2007 (mm)	P Vänersborg 2007 (mm)
Q Lilla Edet 2007 (m3/s)	626,05	268,32	1,00	0,07	-0,08	-0,06	-0,04
Turb Garn 2007 (FNU)	8,07	4,43	0,07	1,00	***0,77***	***0,11***	0,07
Turb Lärjeholm 2007 (FNU)	7,74	3,70	-0,08	***0,77***	1,00	0,06	0,03
P Göteborg A 2007 (mm)	3,02	5,53	-0,06	***0,11***	0,06	1,00	***0,69***
P Vänersborg 2007 (mm)	2,70	5,54	-0,04	0,07	0,03	***0,69***	1,00

Bilagetabell 1: 3. Korrelation flöde, turbiditet och nederbörd perioden 1 januari – 30 april, år 2001, 2005 och 2007. Signifikanta korrelationer (p<0,05) är kursiverade och fetmarkerade.

2001: 1jan-30april	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=114 (radvis radering av saknad data)					
	Means	Std.Dev.	Q Lilla Edet 1jan-30april 2001 (m3/s)	Turb Garn 1jan-30april 2001 (FNU)	Turb Lärjeholm 1jan-30april 2001 (FNU)	P Göteborg A 1jan-30april 2001 (mm)
Q Lilla Edet 1jan-30april 2001 (m3/s)	1190,99	53,22	1,00	-0,10	-0,04	-0,14
Turb Garn 1jan-30april 2001 (FNU)	6,21	3,12	-0,10	1,00	***0,75***	0,00
Turb Lärjeholm 1jan-30april 2001 (FNU)	9,44	3,61	-0,04	***0,75***	1,00	0,08
P Göteborg A 1jan-30april 2001 (mm)	1,98	3,90	-0,14	0,00	0,08	1,00

2005: 1jan-30april	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=103 (radvis radering av saknad data)					
	Means	Std.Dev.	Q Lilla Edet 1jan-30april 2005 (m3/s)	Turb Garn 1jan-30april 2005 (FNU)	Turb Lärjeholm 1jan-30april 2005 (FNU)	P Göteborg A 1jan-30april 2005 (mm)
Q Lilla Edet 1jan-30april 2005 (m3/s)	724,55	108,14	1,00	***0,34***	***0,37***	0,00
Turb Garn 1jan-30april 2005 (FNU)	4,62	2,16	***0,34***	1,00	***0,85***	-0,08
Turb Lärjeholm 1jan-30april 2005 (FNU	7,82	3,53	***0,37***	***0,85***	1,00	-0,06
P Göteborg A 1jan-30april 2005 (mm)	1,67	3,54	0,00	-0,08	-0,06	1,00

2007: 1jan-30april	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=112 (radvis radering av saknad data)					
	Means	Std.Dev.	Q Lilla Edet 1jan-30april 2007 (m3/s)	Turb Garn 1jan-30april 2007 (FNU)	Turb Lärjeholm 1jan-30april 2007 (FNU)	P Göteborg A 1jan-30april 2007 (mm)
Q Lilla Edet 1jan-30april 2007 (m3/s)	956,88	34,20	1,00	-0,04	-0,09	-0,05
Turb Garn 1jan-30april 2007 (FNU)	9,02	4,22	-0,04	1,00	***0,79***	***0,28***
Turb Lärjeholm 1jan-30april 2007 (FNU)	7,70	3,23	-0,09	***0,79***	1,00	***0,27***
P Göteborg A 1jan-30april 2007 (mm)	2,69	4,49	-0,05	***0,28***	***0,27***	1,00

Bilagetabell 1: 4. Korrelation mellan turbiditet vid fem mätstationer för år 2001 och 2005. Data från Göteborg Vatten, Alelyckan. Signifikanta korrelationer (p<0,05) är kursiverade och fetmarkerade.

2001	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=335 (radvis radering av saknad data)						
	Means	Std.Dev.	Turb Skräcklan 2001 (FNU)	Turb Garn 2001 (FNU)	Turb S. Nol 2001 (FNU)	Turb Surte 2001 (FNU)	Turb Lärjeholm 2001 (FNU)
Turb Skräcklan 2001 (FNU)	3,37	1,88	1,00	***0,59***	***0,40***	***0,34***	***0,38***
Turb Garn 2001 (FNU)	4,39	2,28	***0,59***	1,00	***0,88***	***0,81***	***0,77***
Turb S. Nol 2001 (FNU)	5,09	2,70	***0,40***	***0,88***	1,00	***0,90***	***0,80***
Turb Surte 2001 (FNU)	5,93	2,73	***0,34***	***0,81***	***0,90***	1,00	***0,85***
Turb Lärjeholm 2001 (FNU)	6,94	2,68	***0,38***	***0,77***	***0,80***	***0,85***	1,00

2005	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=269 (radvis radering av saknad data)						
	Means	Std.Dev.	Turb Skräcklan 2005 (FNU)	Turb Garn 2005 (FNU)	Turb S. Nol 2005 (FNU)	Turb Surte 2005 (FNU)	Turb Lärjeholm 2005 (FNU)
Turb Skräcklan 2005 (FNU)	5,33	3,40	1,00	0,10	0,07	-0,05	***0,18***
Turb Garn 2005 (FNU)	2,87	1,54	0,10	1,00	***0,66***	***0,56***	***0,60***
Turb S. Nol 2005 (FNU)	4,26	2,30	0,07	***0,66***	1,00	***0,55***	***0,63***
Turb Surte 2005 (FNU)	4,59	2,20	-0,05	***0,56***	***0,55***	1,00	***0,73***
Turb Lärjeholm 2005 (FNU)	6,28	2,74	***0,18***	***0,60***	***0,63***	***0,73***	1,00

Bilagetabell 1: 5. Korrelation mellan turbiditet vid fem mätstationer för år 2005 och 2007. Data från Göteborg Vatten, Alelyckan. Signifikanta korrelationer (p<0,05) är kursiverade och fetmarkerade.

2005	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=156 (radvis radering av saknad data)						
	Means	Std.Dev.	Turb Gäddebäck 2005 (FNU)	Turb Garn 2005 (FNU)	Turb S. Nol 2005 (FNU)	Turb Surte 2005 (FNU)	Turb Lärjeholm 2005 (FNU)
Turb Gäddebäck 2005 (FNU)	3,70	1,08	1,00	-0,03	-0,01	0,10	0,01
Turb Garn 2005 (FNU)	2,49	1,34	-0,03	1,00	***0,83***	***0,45***	***0,61***
Turb S. Nol 2005 (FNU)	3,96	2,25	-0,01	***0,83***	1,00	***0,56***	***0,73***
Turb Surte 2005 (FNU)	4,38	2,42	0,10	***0,45***	***0,56***	1,00	***0,75***
Turb Lärjeholm 2005 (FNU)	6,30	2,98	0,01	***0,61***	***0,73***	***0,75***	1,00

2007	Korrelation Markerad korrelation är signifikant vid p < ,05000 N=254 (radvis radering av saknad data)						
	Means	Std.Dev.	Turb Gäddebäck 2007 (FNU)	Turb Garn 2007 (FNU)	Turb S. Nol 2007 (FNU)	Turb Surte 2007 (FNU)	Turb Lärjeholm 2007 (FNU)
Turb Gäddebäck 2007 (FNU)	5,61	2,96	1,00	***0,47***	***0,20***	0,09	***0,35***
Turb Garn 2007 (FNU)	8,26	4,59	***0,47***	1,00	***0,66***	***0,47***	***0,79***
Turb S. Nol 2007 (FNU)	13,13	7,11	***0,20***	***0,66***	1,00	***0,74***	***0,62***
Turb Surte 2007 (FNU)	8,24	4,27	0,09	***0,47***	***0,74***	1,00	***0,68***
Turb Lärjeholm 2007 (FNU)	8,13	3,92	***0,35***	***0,79***	***0,62***	***0,68***	1,00

BILAGA 2

ANALYS AV TURBIDITETEN FÖR FYRA FÖRHÅLLANDEN

Föreliggande utredning kompletterades också med fyra detaljstudier av turbiditeten som omfattade:

A Förändring av turbiditeten längs älven
B Fartygsinducerad turbiditet
C Fartygsfria perioder
D Perioder med snö

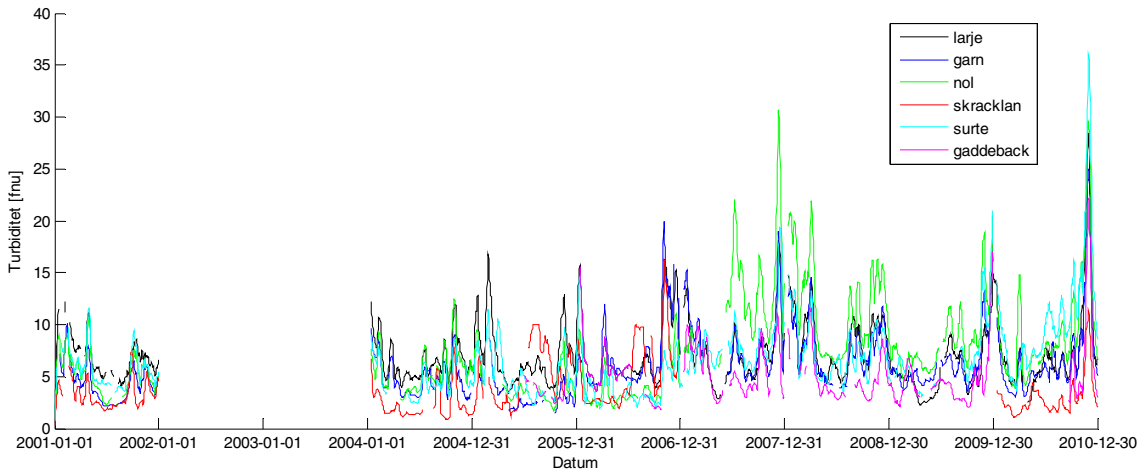
I detaljstudierna nedan ingår även turbiditetsdata från år 2010. Data från år 2010 har inte granskats och kontrollerats av Göteborg Vatten. Övriga data är kontrollerad från felaktigheter som driftstopp, elavbrott osv. Studien är enbart baserad på turbiditet och information om flöde och nederbörd har därför inte beaktats i någon större utsträckning. Som en grov uppskattning har 1 FNU antagits motsvara 1 mg/l. Det ger en något överskattad suspensionshalt jämfört med ovanstående beräkningar.

A. Förändring av turbiditeten längs älven

Hypotes
Turbiditeten i en station beror till stor del på turbiditeten i det från Vänern inkommande vattnet men turbiditeten ökar också nedströms längs älven.

År 2001-2010

Turbiditeten varierar kraftigt över tid i alla stationer. Det gäller för korta tidsperioder, men i **Bilagefigur 2: 1** ses även att nivåerna från 2007 och framåt är högre för Nol (även för Garn och Surte, men svagare). Det är inte känt om denna ökning är verklig, eller orsakad av skillnader/felaktigheter i mätningen.

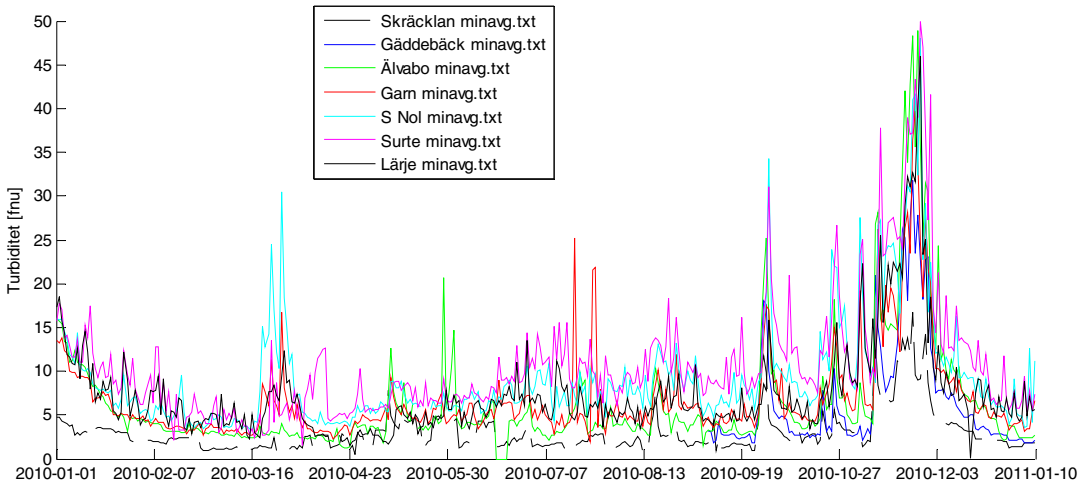


Bilagefigur 2: 1. Dygnsmedian för turbiditet med flytande medelvärde över 14 dagar.

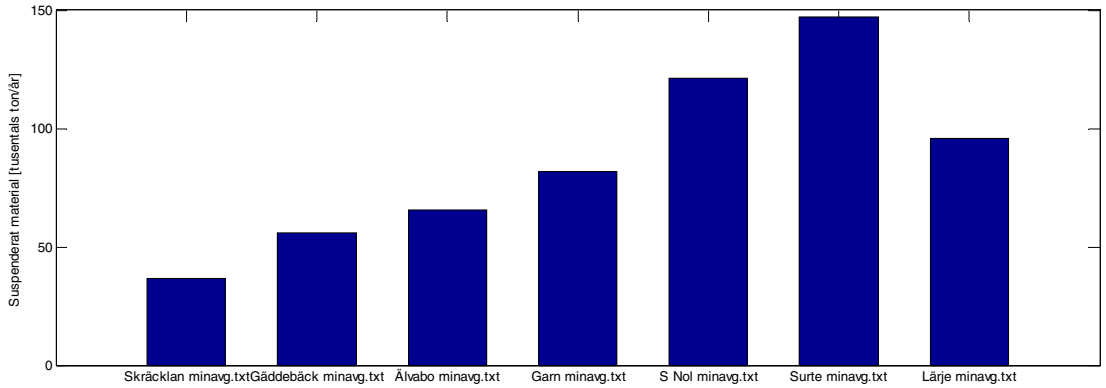
År 2010

I **Bilagefigur 2: 2** visas dygnsmedianvärden för turbiditeten under 2010, där data för Gäddebäck endast finns tillgänglig under hösten. Medianvärdena under 2010 är (medelvärden inom paren-

tes): Skräcklan 2,26 (2,98), Gäddebäck[7] 3,43 (6,69), Älvabo 4,04 (6,36), Garn 5,03 (6,83), S Nol 7,44 (9,23), Surte 9,03 (10,68) och Lärje 5,89 (7,42). Om man räknar om medianvärdena till suspenderat material (med relationen 1 FNU = 1 mg/l och årsmedelflöde på 516 m^3/s) fås för Skräcklan ca 37 000 ton/år, Gäddebäck[8] ca 56 000 ton/år, Älvabo ca 66 000 ton/år, Garn ca 82 000 ton/år, S. Nol 121 000 ton/år, Surte ca 147 000 ton/år och Lärjeholm ca 96 000 ton/år, vilket även illustreras i **Bilagefigur 2: 3.**



Bilagefigur 2: 2. Turbiditet, dygnsmedian. Data från Göteborg Vatten.



Bilagefigur 2: 3. Materialtransport vid olika mätstationer längs Göta älv.

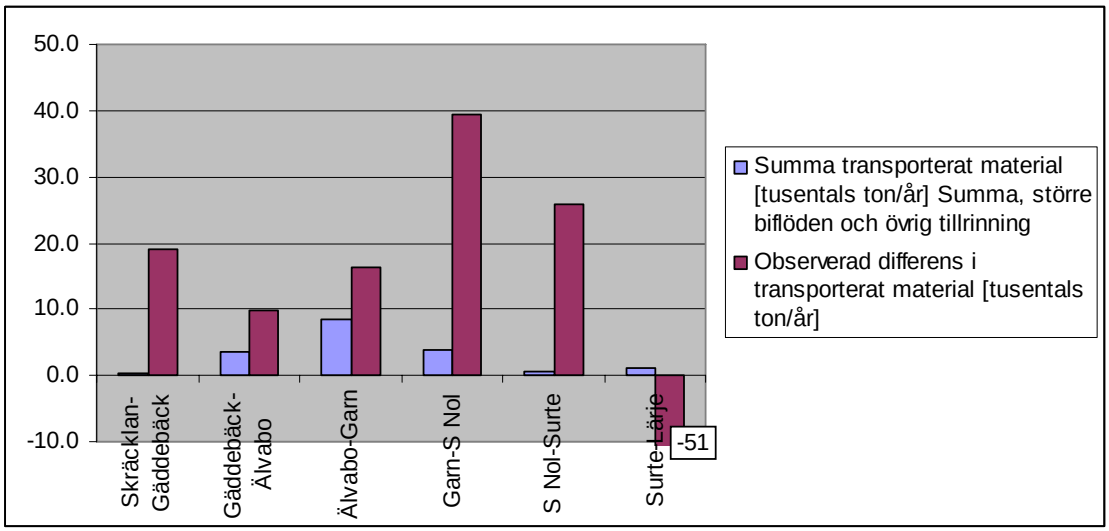
Tillskotten av suspenderat material från biflödena visas i **Bilagetabell 2: 1.** Ordningen av turbiditetsmätningsstationer och tillflöden är: Skräcklan, Gäddebäck, *Stallbackaån*, Älvabo, *Slumpån*, *Sollumsån*, Garn, *Gårdaån*, *Grönå*, *Sköldsån*, S Nol, Surte, Lärje/*Lärjeån*. Förutom från de större vattendragen har uppskattning av övriga bidrag på respektive sträcka gjorts, baserad på bidraget från Sollumsån.

[7] Endast hösten
[8] Endast hösten

Bilagetabell 2: 1. Bidrag suspenderat material från biflöden.

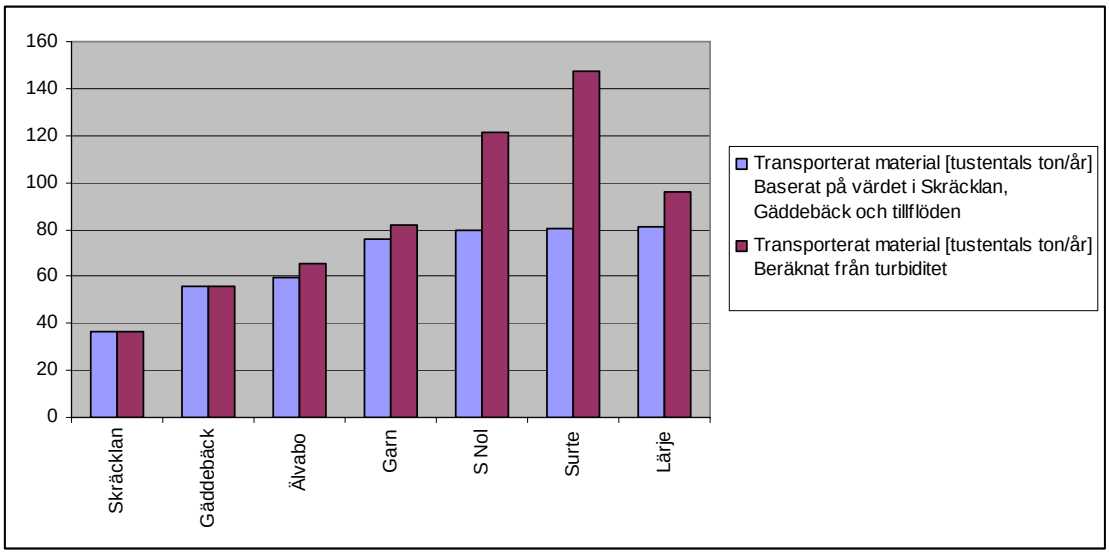
Transporterat material [tusentals ton/år]		
	Medel 2007-2009	Sollumsåekvivalenter
Stallbackaån	3,3	
Slumpån	7,4	
Sollumsån	0,3	
Gårdaån	0,7	
Grönå	2,3	
Sköldsån	0,2	
Lärjeån	1,1	
Sk-Gä		0,3
Gä-Äl		0,4
Äl-Ga		0,9
Ga-S Nol		0,6
S Nol-Su		0,5
Su-Lä		0,1

Summeras de beräknade bidragen på de olika sträckorna fås resultatet som visas i **Bilagefigur 2: 4** (där även värdena från **Bilagefigur 2: 3.** visas). Som synes ger bidragen från tillflödena betydligt mindre värden än de från turbiditeten beräknade värdena. Detta gäller i synnerhet sträckorna Skräcklan-Gäddebäck, Garn-S Nol, och S Nol-Surte. På sträckan Surte-Lärjeholm är bidraget, baserat på turbiditetsmätningar, negativt. Larson (från Sundborg och Norrman) skattade bidraget från biflöden till 5 000 ton/år norr om Lilla Edet, och 10 000 ton/år söder om Lilla Edet, vilket kanske kan översättas till 7 500 ton/år såväl söder som norr om Garn. Värdena från biflödena i **Bilagefigur 2: 4** ger 12,4 kton/år norr on Garn och 5,7 kton/år söder om Garn.



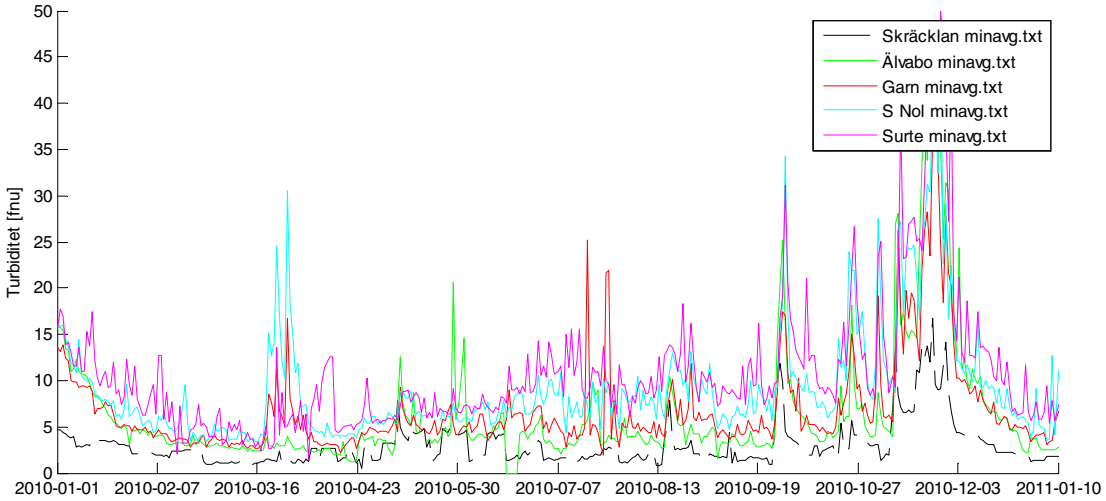
Bilagefigur 2: 4. Materialtransport mellan mätstationer.

Ett annat sätt att göra jämförelsen på är att utgå från den transporterade mängden i Skräcklan och Gäddebäck (Gäddebäck har inkluderats eftersom Skräcklan mäter i Vänern, innan älven börjar). Detta visas i **Bilagefigur 2: 5** och det framstår då som att S Nol och Surte eventuellt ger för höga värden. Detta kan jämföras med iakttagelsen i anslutning till **Bilagefigur 2: 1** (om ökning av värdena 2007).



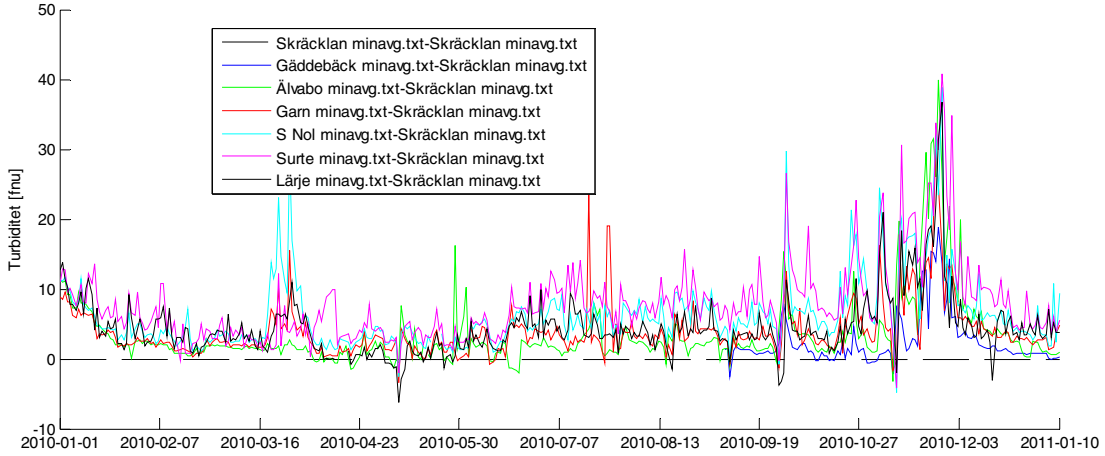
Bilagefigur 2: 5. Materialtransport vid olika mätstationer.

I det fall Gäddebäck och Lärje exkluderas från **Bilagefigur 2: 2** blir bilden tydligare (se **Bilagefigur 2: 6**). Turbiditeten ökar längs älven, även om det finns enskilda toppar som avviker från det mönstret.



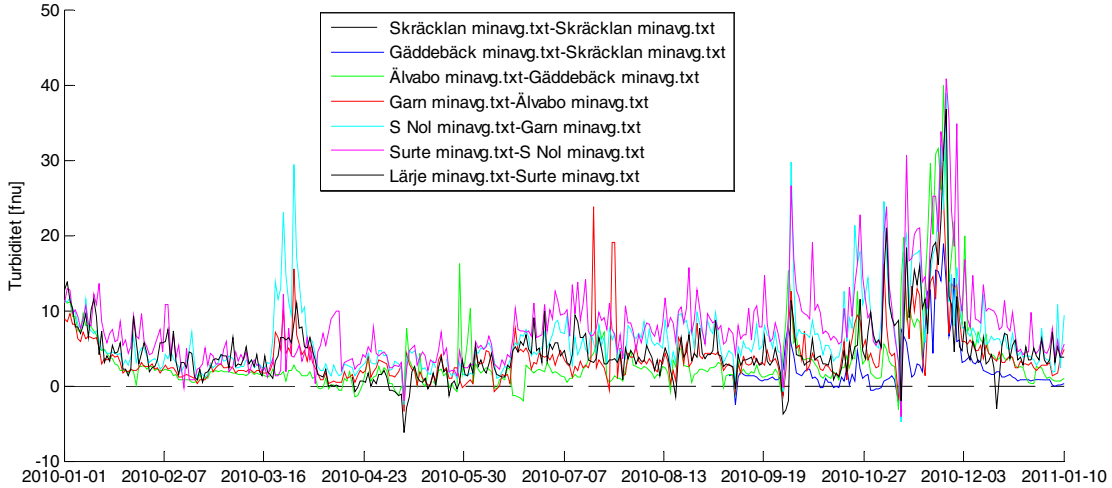
Bilagefigur 2: 6. Turbiditet vid olika tidpunkter och mätstationer.

I **Bilagefigur 2: 7.** visas resultatet då Skräcklan dragits av från de övriga stationerna. Dessa kurvor kan sägas representera tillskottet av grumlighet längs Göta älv. Vid några tillfällen finns små negativa värden, vilka visar att metoden inte är helt korrekt. En felkälla kan t.ex. vara att det tar 1-2 dygn för vattnet att rinna genom älven men korrektionen är gjord för samma dag. Alltså fås felaktiga resultat för perioder med snabba turbiditetsvariationer.



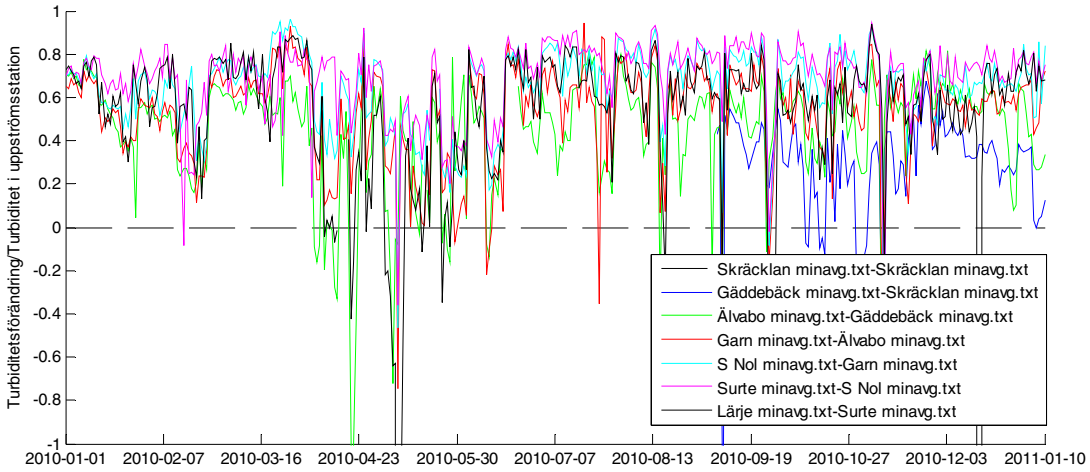
Bilagefigur 2: 7. Turbiditetsvariationer då turbiditeten vid Skräcklan dragits av från övriga stationers turbiditetsvärden.

I **Bilagefigur 2: 8** visas turbiditetsändringen mellan de olika stationerna. Man ser att turbiditetsändringen mellan stationerna generellt sett är mindre än 5-10 FNU men att den vid vissa tillfällen är stor. De stora ändringarna verkar sammanfalla med perioder med generellt höga turbiditetsvärden.



Bilagefigur 2: 8. Turbiditetsvariationer då turbiditeten vid föregående station dragits av från efterkommande.

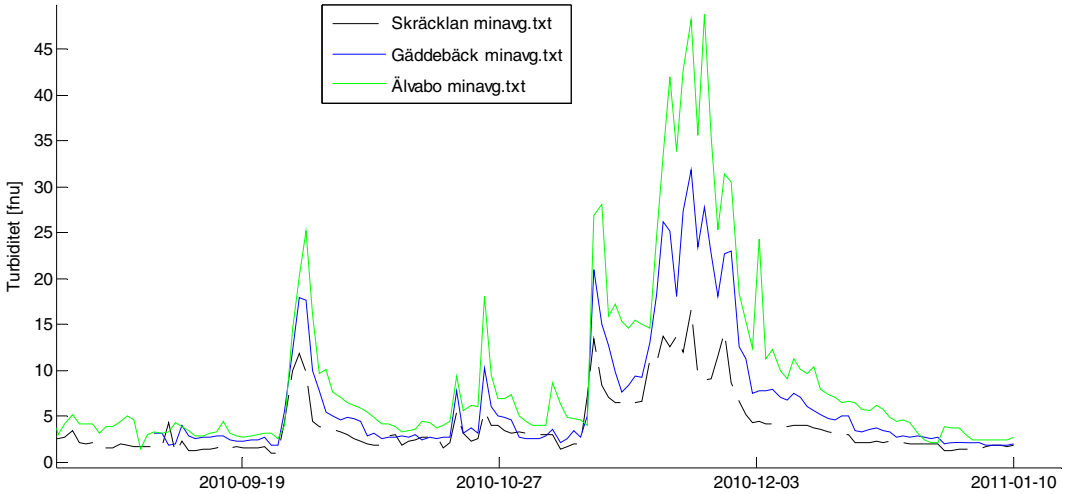
Också från **Bilagefigur 2: 9.** bekräftas att turbiditetsökningen mellan två stationer ofta är liten för låga turbiditetsnivåer och stor för höga turbiditetsnivåer. Detta ses genom att kvoten mellan turbiditetsförändringen mellan två stationer och turbiditeten i den uppströms liggande stationen mestadels inte varierar så mycket (~0,3-0,8). Dock fås ibland låga och även negativa värden vilka troligen beror på snabba minskningar av turbiditeten.



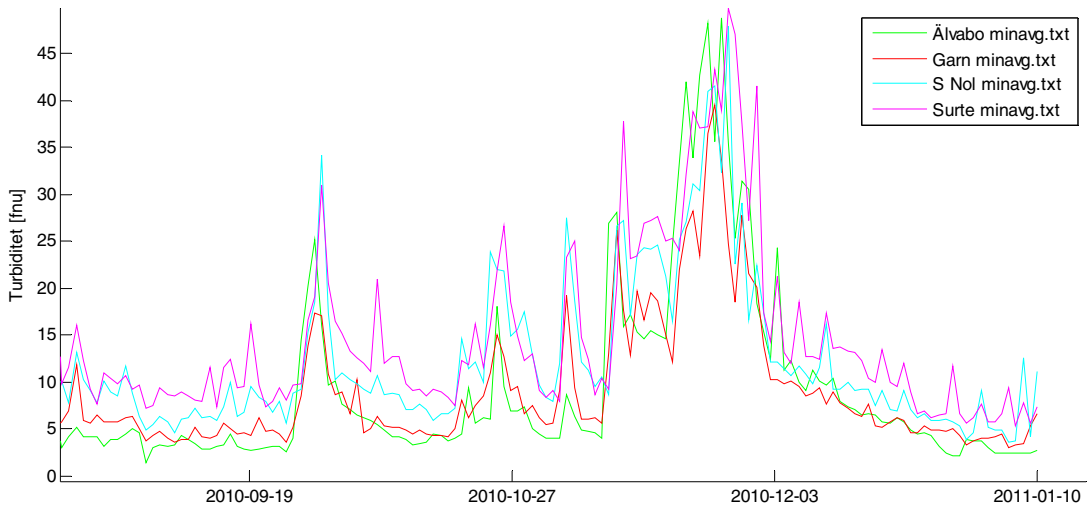
Bilagefigur 2: 9. Kvoten mellan turbiditetsförändringen mellan två stationer och turbiditeten i den uppströms liggande stationen

Hösten 2010

Tittar man mer i detalj på Skräcklan, Gäddebäck och Älvabo hösten 2010 framgår av **Bilagefigur 2: 10.** mycket god korrelation och ökande turbiditet längs älven. Dock verkar det som att turbiditetsökningen för höga turbiditeter är mindre tydlig nedströms Älvabo (se **Bilagefigur 2: 11.**). För låga turbiditetsvärden ökar dock turbiditeten längs älven.

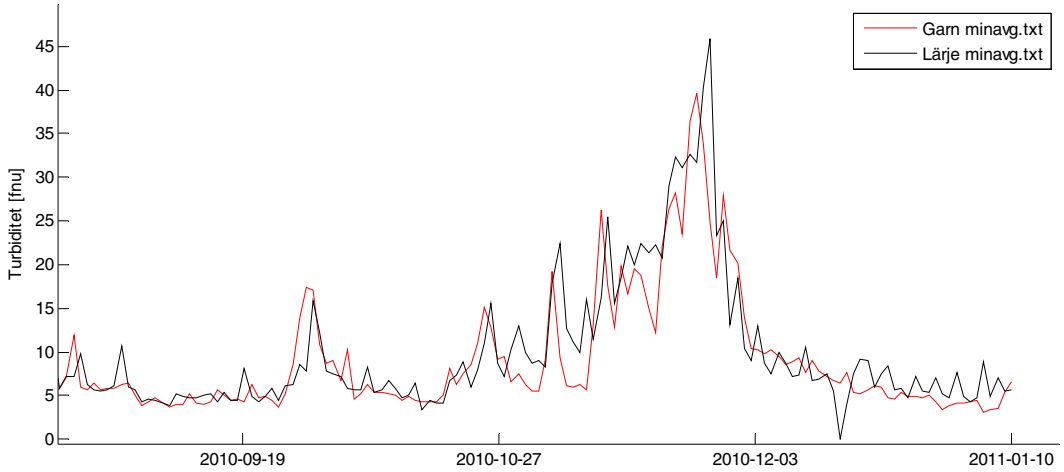


Bilagefigur 2: 10. Turbiditet i Skräcklan, Gäddebäck och Älvabo hösten 2010.



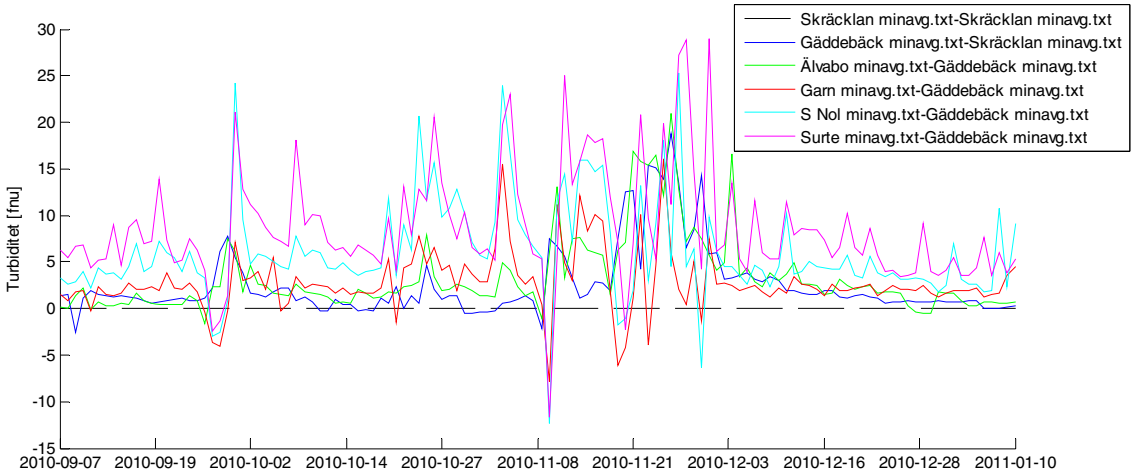
Bilagefigur 2: 11. Turbiditet i Älvabo, Garn, S Nol och Surte hösten 2010.

Lärje, som inte är med i **Bilagefigur 2: 11.** , avviker något från mönstret och liknar mest Garn (se nästa **Bilagefigur 2: 12.**) även om Surte är den station som ligger närmast. Det är oklart varför det är så (jfr. diskussionen i anslutning till **Bilagefigur 2: 5** om eventuellt för höga värden i S Nol och Surte).



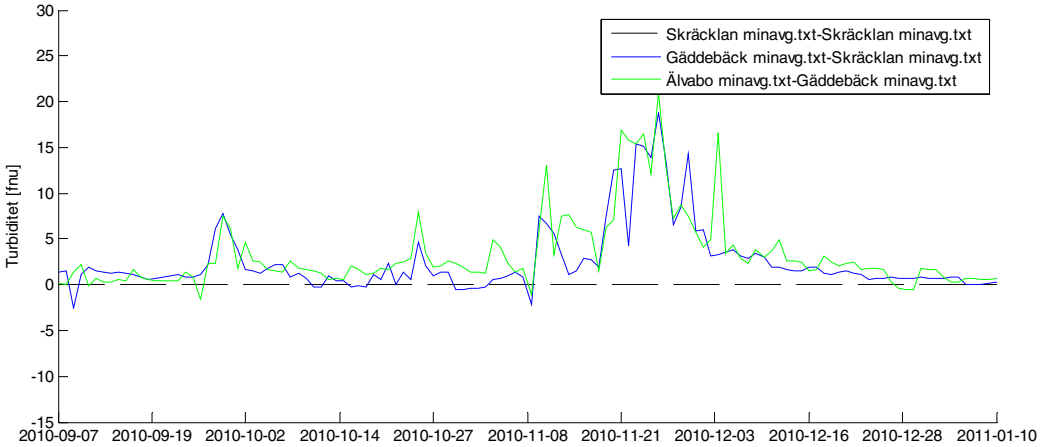
Bilagefigur 2: 12. Turbiditet i Garn och Lärjeholm hösten 2010.

Om man drar av Skräcklan från Gäddebäck och Gäddebäck från de övriga fås resultatet i **Bilagefigur 2: 13.** . Som i **Bilagefigur 2: 7.** visar de negativa värdena på fel i metoden och kan t.ex. bero på att det tar 1-2 dygn för vattnet att rinna genom älven. I övrigt kan **Bilagefigur 2: 14.** sägas beskriva den turbiditetsökning som skett mellan Skräcklan och Gäddebäck, samt mellan Gäddebäck och övriga stationer.



Bilagefigur 2: 13. Turbiditet i Skräcklan avdragen från övriga stationer hösten 2010.

Tittar man bara på Skräcklan, Gäddebäck och Älvabo framträder resultatet i **Bilagefigur 2: 13.** tydligare (se **Bilagefigur 2: 14.**). Då **Bilagefigur 2: 10.** och **Bilagefigur 2: 14.** jämförs kan det anas att ökningen i turbiditet mellan stationerna är liten för små turbiditetsvärden och klart större då turbiditeten är högre. Specifikt för dessa stationer kan sägas att turbiditetsökningen är ungefär lika stor mellan Skräcklan och Gäddebäck som mellan Gäddebäck och Älvabo. Vidare betyder det alltså att stapeln för Gäddebäck i **Bilagefigur 2: 3.** antagligen är för hög (beroende på att mätningar endast finns tillgängliga för hösten).



Bilagefigur 2: 14. Turbiditet i Gäddebäck och Älvabo då turbiditeten i Skräcklan dragits av, 2010.

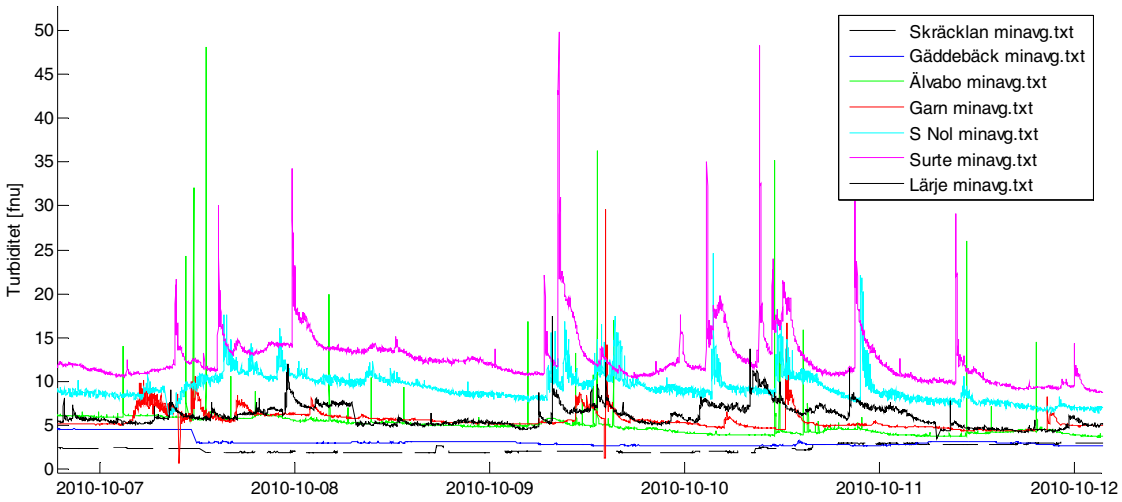
Slutsats

Turbiditeten ökar längs älven utifrån en basnivå i inflödet från Vänern. Det är oklart om mätningarna i Lärjeholm är för låga eller om mätningarna i S Nol och Surte är för höga. Turbiditetsökningen är antagligen störst i perioder med hög turbiditet. Detta skulle kunna vara relaterat till t.ex. flödet i älven eller nederbörd.

B. Fartygsinducerad turbiditet

Hypotes
Fartygstrafik orsakar stora turbiditetstoppar i områden med mycket mjuka bottnar.

Det verkar som att de turbiditetstoppar som orsakas av fartygsvågor är tämligen olika i olika delar av älven. Från **Bilagefigur 2: 15.** nedan verkar det som att dessa toppar blir större längre nedströms, dock undantaget i Lärje. Back scatter-tolkningen i områdena med turbiditetsstationer visas i bilderna nedan (**Bild 1-Bild 6**), även om de exakta platserna för mätstationerna är okända. Andelen mjuka bottnar är större vid de södra stationerna. Även mätintagens placering kan påverka hur väl fartygens påverkan ses. Informationen i detta kapitel kan vara relevant för att förstå mer av den bedömning av fartygsinducerad erosion baserat på mätningar vid Garn som gjordes inom ramen för ett examensarbete (Althage, 2010).



Bilagefigur 2: 15. Turbiditetstoppar orsakade av fartygspassage.

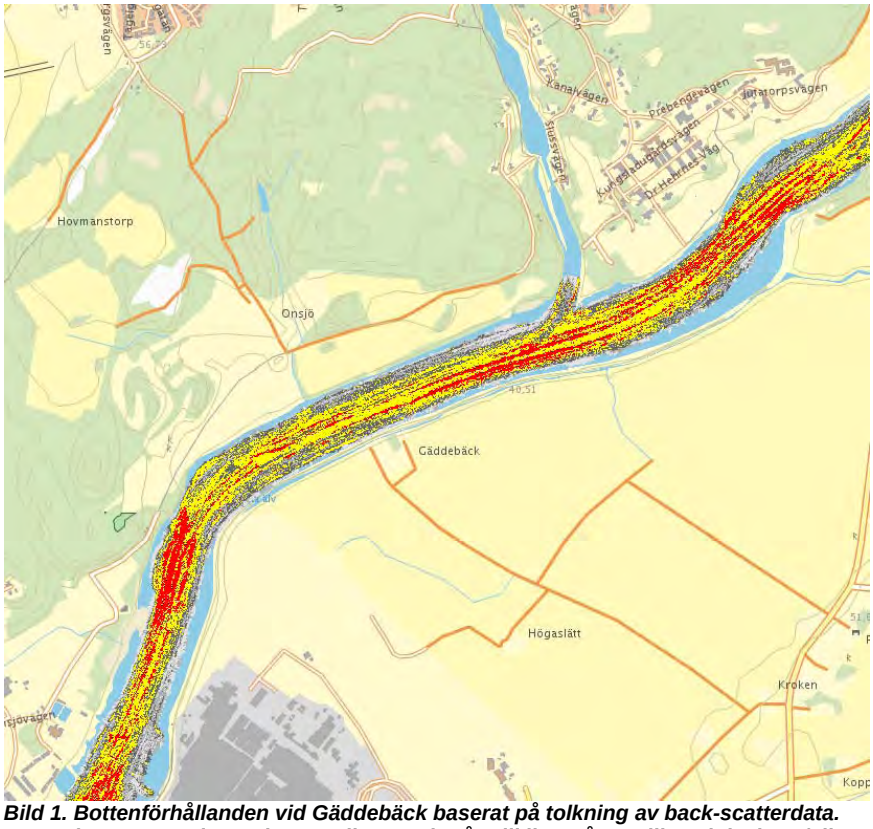


Bild 1. Bottenförhållanden vid Gäddebäck baserat på tolkning av back-scatterdata. Legend: rött = grusigt, gult = sandigt, mörkgrått till ljusgrått = olika mjuka leror/silt. Bakgrundskarta © Lantmäteriet

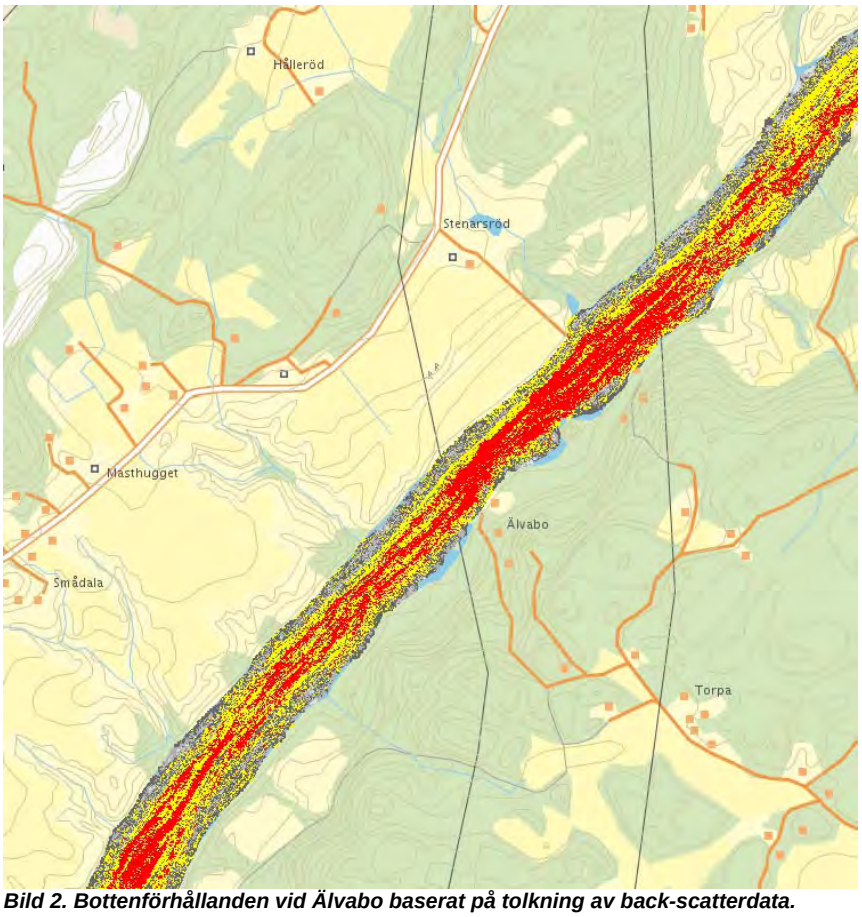


Bild 2. Bottenförhållanden vid Älvabo baserat på tolkning av back-scatterdata. Bakgrundskarta © Lantmäteriet

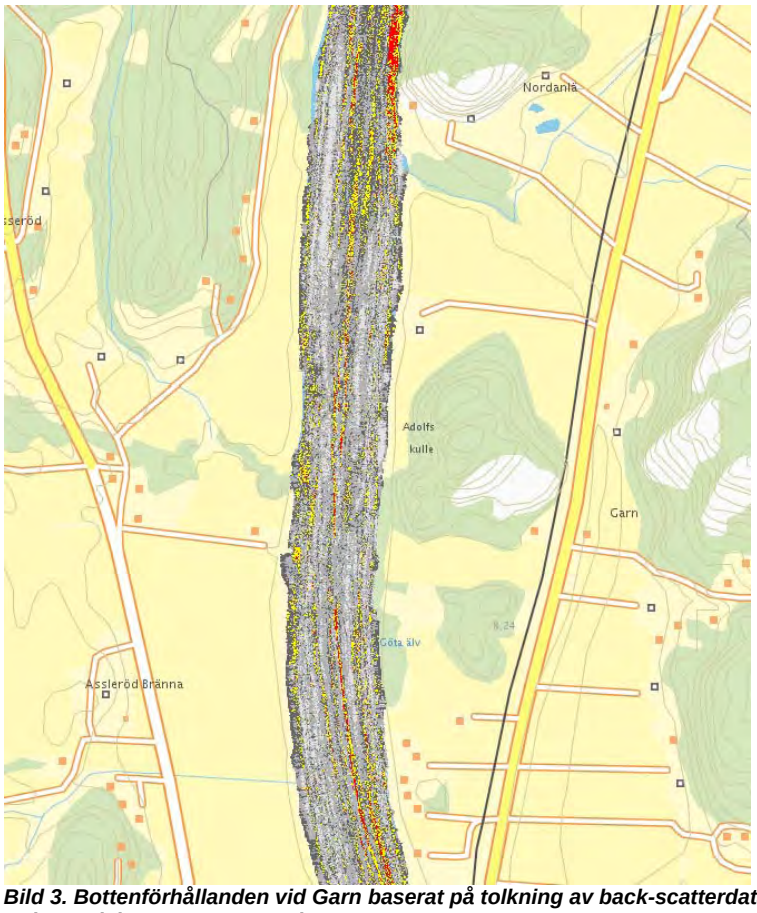


Bild 3. Bottenförhållanden vid Garn baserat på tolkning av back-scatterdata. Bakgrundskarta © Lantmäteriet

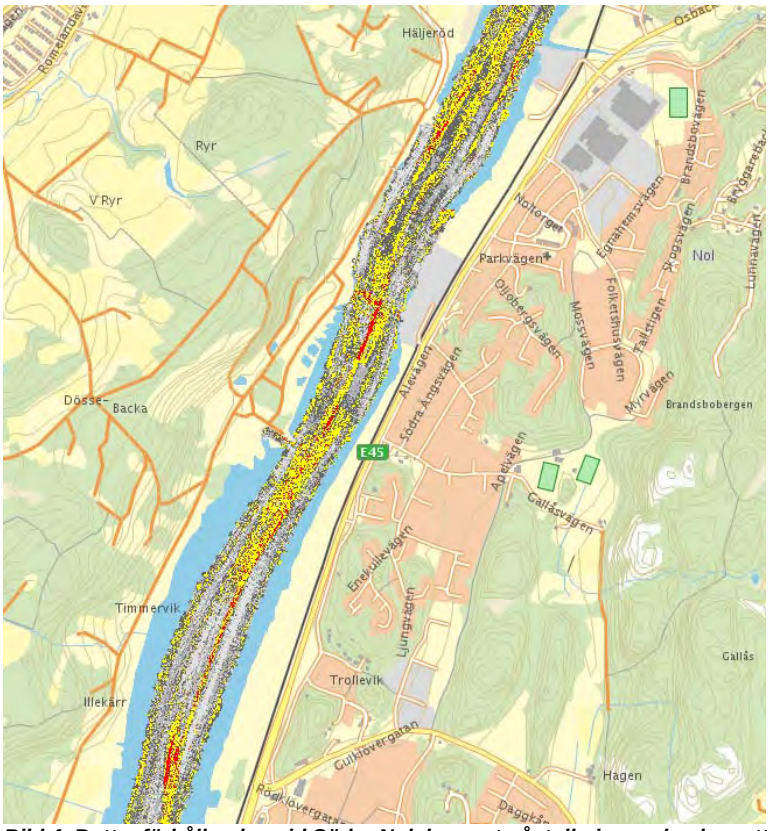


Bild 4. Bottenförhållanden vid Södra Nol baserat på tolkning av back-scatterdata. Bakgrundskarta © Lantmäteriet

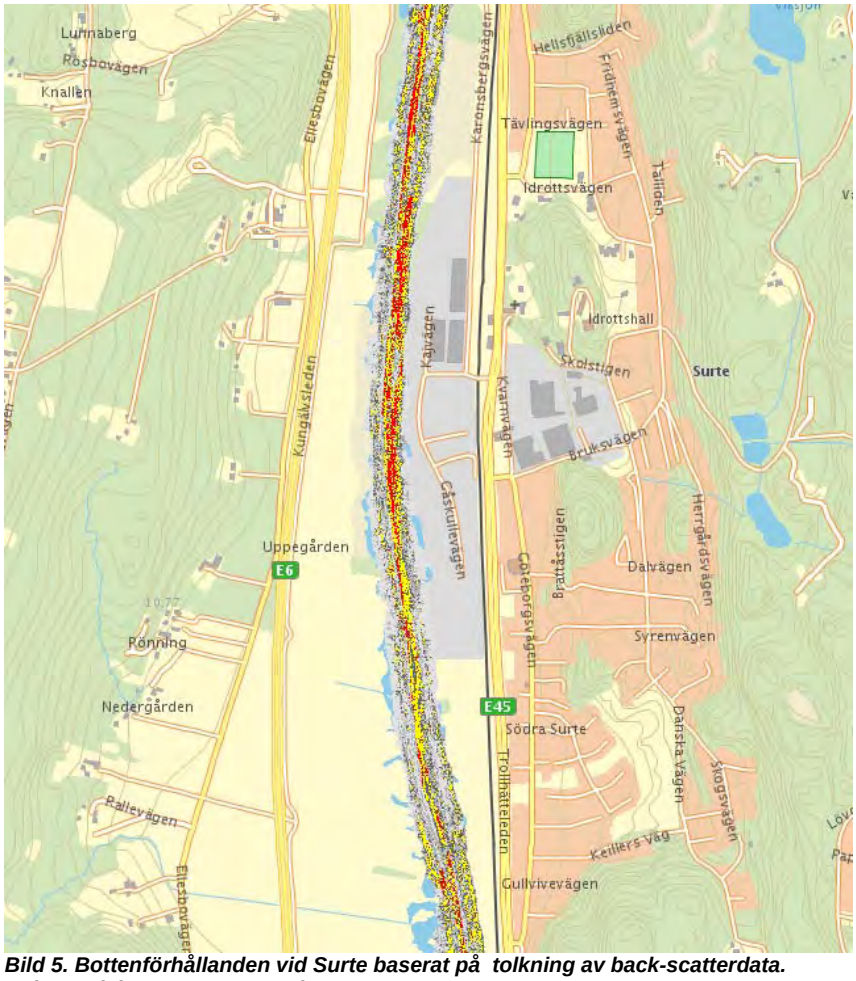


Bild 5. Bottenförhållanden vid Surte baserat på tolkning av back-scatterdata. Bakgrundskarta © Lantmäteriet

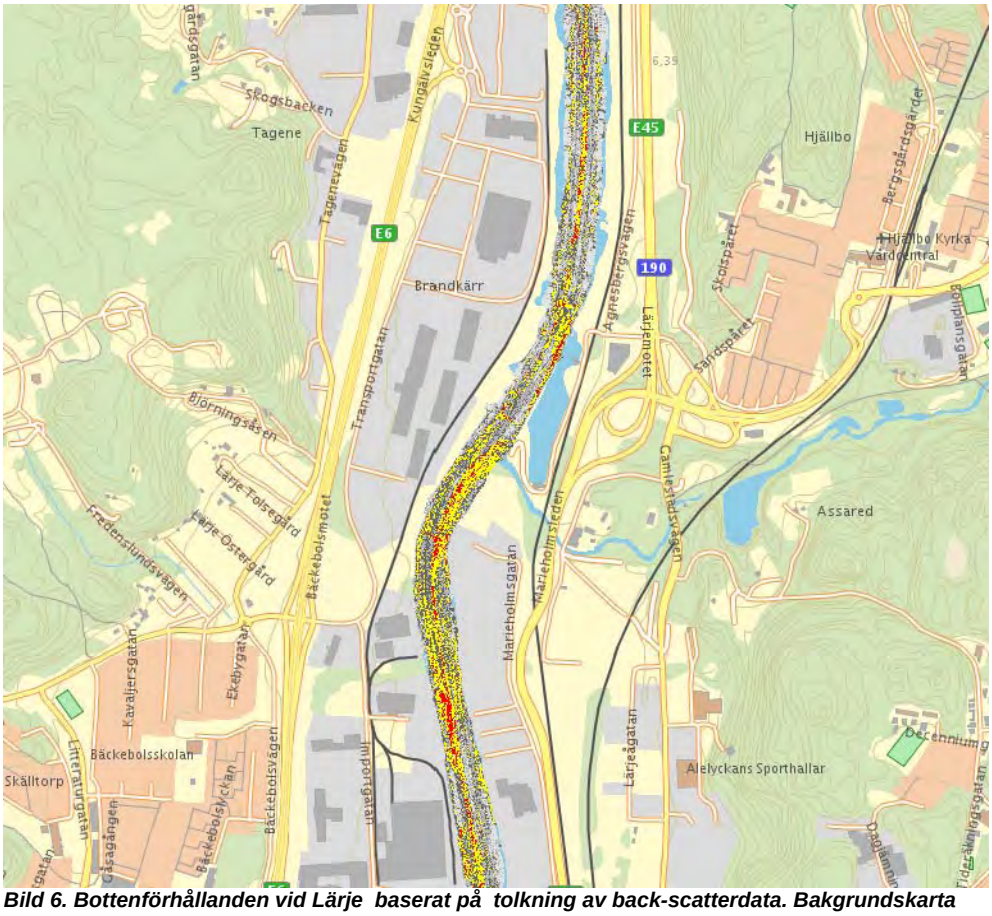
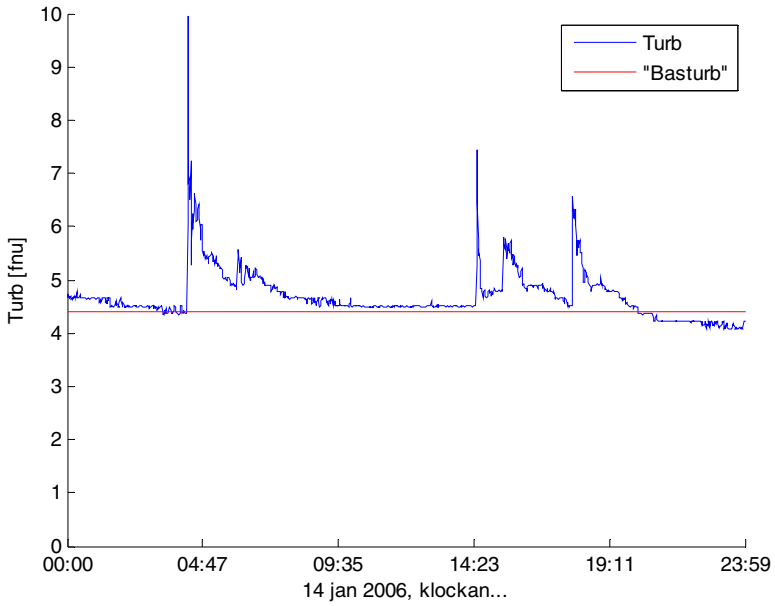


Bild 6. Bottenförhållanden vid Lärje baserat på tolkning av back-scatterdata. Bakgrundskarta © Lantmäteriet

För att studera storleken på den fartygsinducerade turbiditeten vid mätstationerna kan man integrera turbiditeten över tid och jämföra med motsvarande integral för basturbiditeten, **Bilagefigur 2: 16**. Man får då en andel av den totala turbiditeten som orsakas av fartyg. Detta har ännu bara testats.



Bilagefigur 2: 16. Exempel på förändring i turbiditet vid fartygspassage.

Slutsats

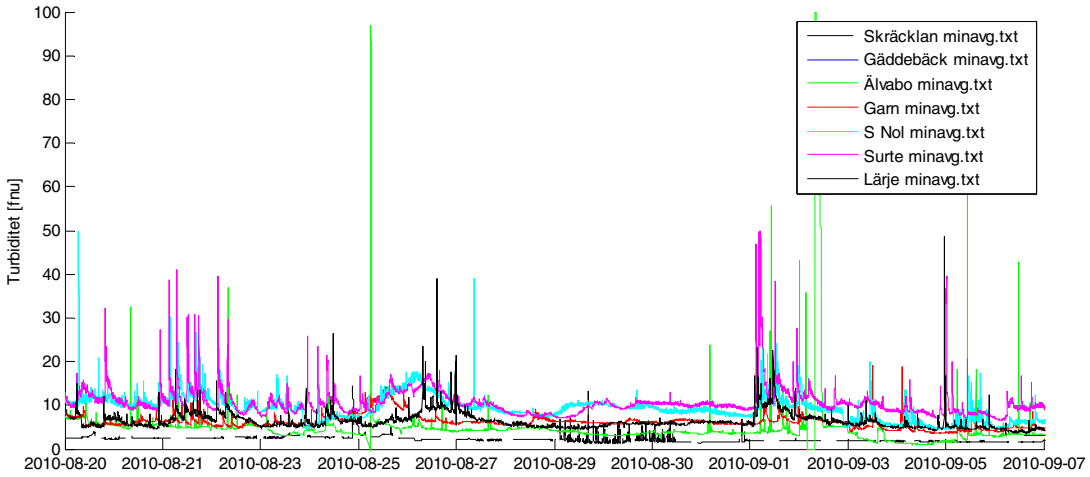
Turbiditetstopparna från fartygspassager är större för stationerna längre nedströms älven och eventuellt även relaterade till andelen mjuka bottnar vid stationen.

C. Fartygsfria perioder

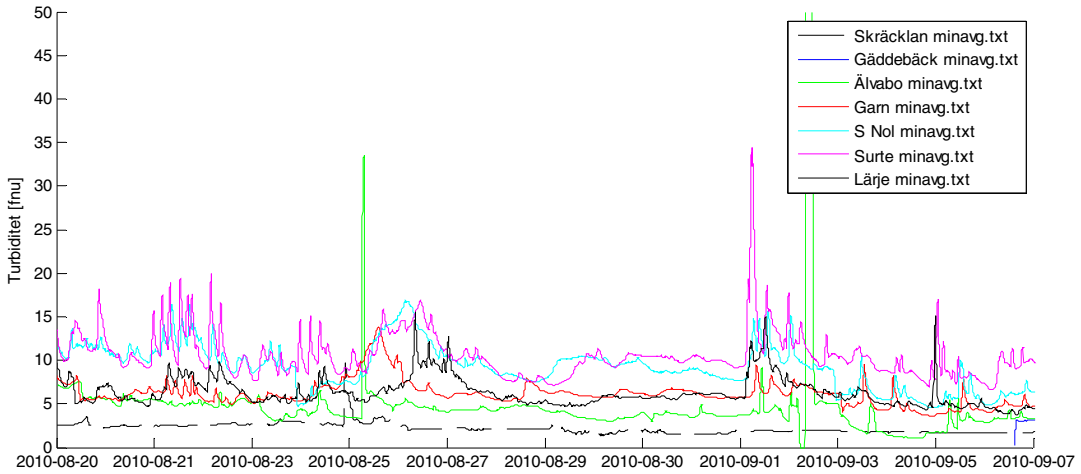
Hypotes

Fartygens vågor orsakar förhöjd turbiditet och därmed bör turbiditeten vara lägre i perioder utan fartygstrafik (dels avseende toppar, dels avseende basnivå).

Nedan visas turbiditet för en period under hösten 2010. Älven var avstängd för fartygstrafik 27/8 kl. 08.00 – 1/9 kl. 16.00.



Bilagefigur 2: 17. Minutvärden för turbiditet vid mätningar längs Göta älv.



Bilagefigur 2: 18. Glidande medelvärde för turbiditet över en timma.

Slutsats

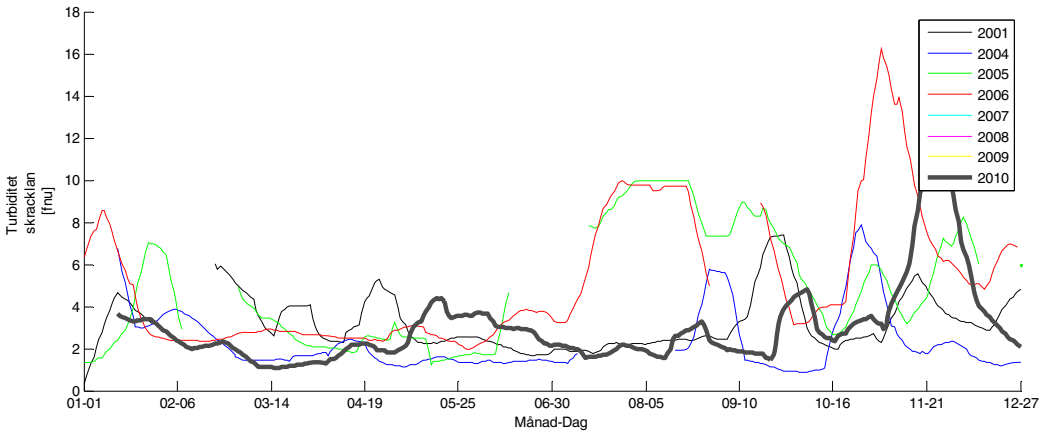
Hypotesen stämmer såtillvida att de fartygsinducerade topparna saknas i den fartygsfria perioden, men någon ändring av turbiditetens basnivå kan inte ses under samma period. Detta tyder på att det inte är fartygstrafiken som orsakar den ökning av turbiditetens basnivå nedströms längs älven som observerats.

D. Perioder med snö

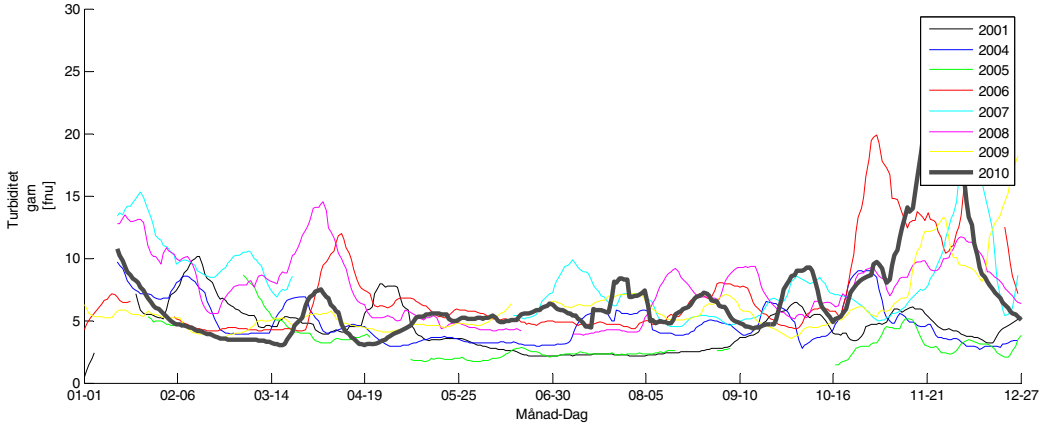
Hypotes

Turbiditeten längs älven beror till stor del på tillrinningen längs älven och därmed bör turbiditeten vara låg under perioder utan tillrinning (t.ex. perioder med minusgrader då tillrinningen till älven bör vara betydligt mindre än annars).

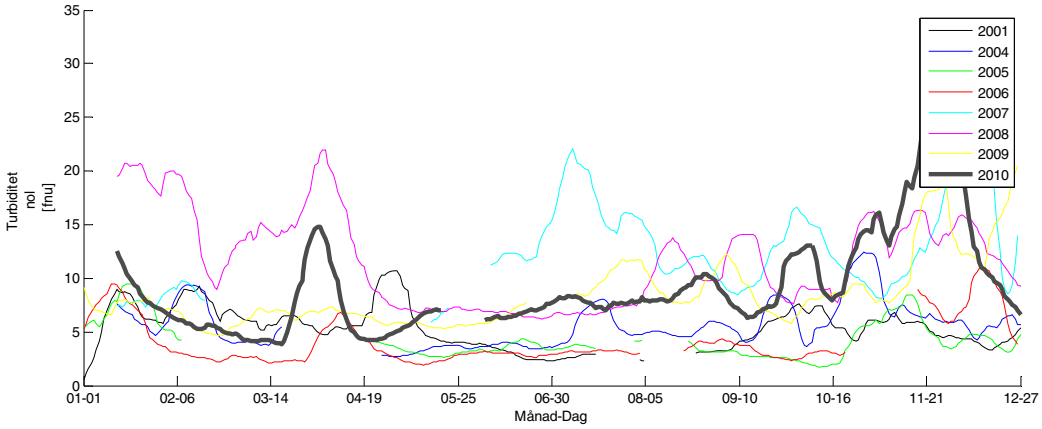
Nedan presenteras grafer med turbiditetens variation över året för åtta olika år. Turbiditeten är dygnsmedian som sedan är utjämnad med ett flytande medelvärde över 14 dygn. Inledningen på 2010 var kall i hela området ungefär t.o.m. mars. Man ser nedan att kurvorna för 2010 ligger relativt lågt, men inte alltid lägst. Observera dock att nivåerna är låga också för Skräcklan, vilket alltså antyder låg turbiditet på inkommande vatten. Som diskuterats i anslutning till **Bilagefigur 2: 1** är nivåerna i Nol (samt även i Surte och Garn, om än i mindre grad) högre från 2007 och framåt. Detta kan bidra till att vintern år 2010 inte ligger lägst i dessa stationer. I graferna ses en kraftig ökning i slutet av mars, vilken skulle kunna vara orsakad av vårfloden. Detta har dock inte undersökts.



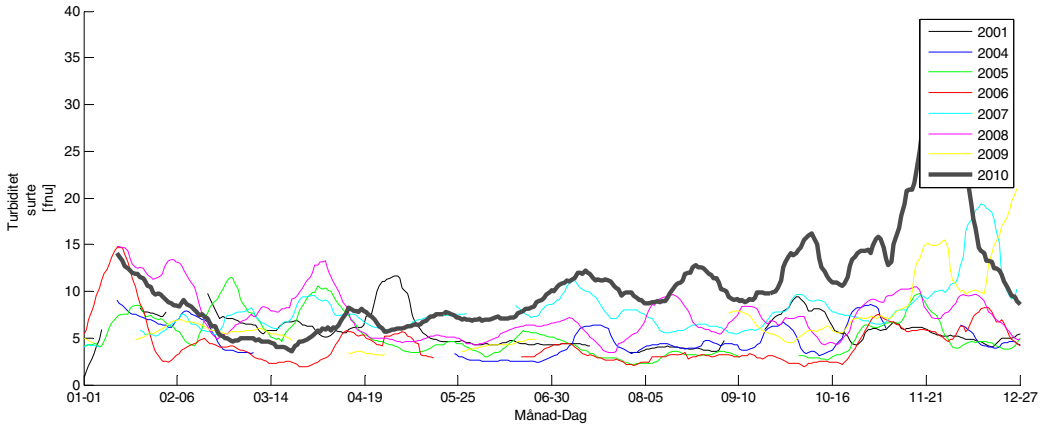
Bilagefigur 2: 19. Variation i turbiditet vid Skräcklan år 2001-2010.



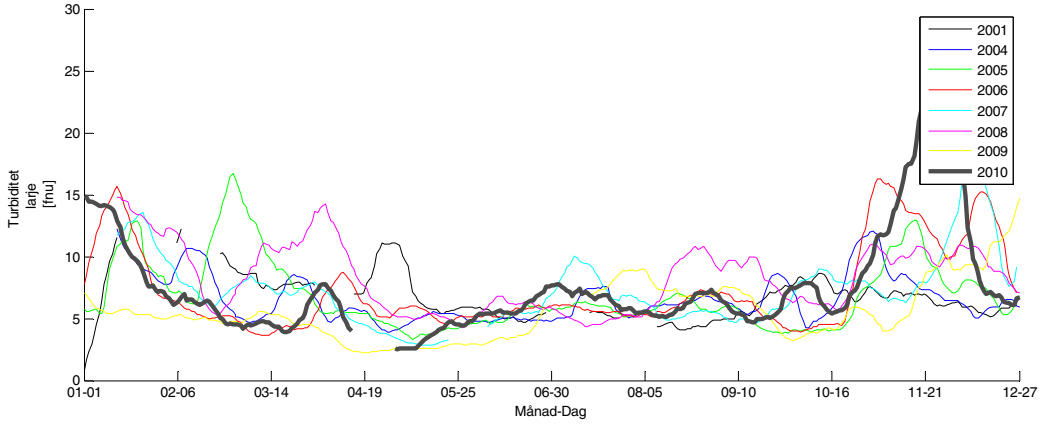
Bilagefigur 2: 20. Variation i turbiditet vid Garn år 2001-2010.



Bilagefigur 2: 21. Variation i turbiditet vid S Nol år 2001-2010.



Bilagefigur 2: 22. Variation i turbiditet vid Surte år 2001-2010.



Bilagefigur 2: 23. Variation i turbiditet vid Lärjeholm år 2001-2010.

Slutsats

Det är oklart om hypotesen är riktig. Analysen kan kompletteras med mer information om temperaturen de olika åren. Vidare bör undersökas om ökningen i turbiditet från 2007, som syns i **Bilagefigur 2: 1**, är verklig eller orsakad av skillnader/felaktigheter i mätningarna.

Göta älvutredningen, GÄU delrapporter 1-34

1 Erosionsförhållanden i Göta älv

2 Fördjupningsstudie om erosion i vattendrag

3 Hydrodynamisk modell för Göta älv. Underlag för analys av vattennivåer, strömhastigheter och bottenskjuvspänningar

4 Transport av suspenderat material i Göta älv

5 Ytgeologisk undersökning med backscatter - Analys för Göta älv och Nordre älv

6 Bottenförhållanden i Göta älv

7 Bedömning av grundvattenförhållanden för slänter längs Göta älv - Allmän vägledning

8 Känslighetsanalys för variationer i grundvattennivå och val av maximala portryck i slänter längs Göta älv – Exempel från en slänt

9 Bedömd förändring av maximala grundvattennivåer i Göta älvdalen till följd av förändrat klimat

10 Studie av portryckens påverkan från nederbörd och vattenståndsvariation i tre slänter längs Göta älv

11 Analys av uppmätta portryck i slänterna vid Äsperöd och Åkerström

12 Metodik för inventering och värdering av konsekvenser till följd av skred i Göta älvdalen

13 Metodik konsekvensbedömning - Känslighetsanalys, klassindelning och applicering av metodik i hela utredningsområdet

14 Metodik konsekvensbedömning - Bebyggelse

15 Metodik konsekvensbedömning - Kartläggning, exponering, sårbarhet och värdering av liv

16 Metodik konsekvensbedömning - Sjöfart

17 Metodik konsekvensbedömning - Väg

18 Metodik konsekvensbedömning - Järnväg

19 Metodik konsekvensbedömning - Miljöfarliga verksamheter och förorenade områden

20 Metodik konsekvensbedömning - Naturmiljö

21 Metodik konsekvensbedömning - Energi och ledningsnät

22 Metodik konsekvensbedömning - VA-system

23 Metodik konsekvensbedömning - Näringsliv

24 Metodik konsekvensbedömning - Kulturarv

25 Metodik konsekvensbedömning - Känslighetsanalyser

26 Metodik konsekvensbedömning - Bebyggelse och kartläggning, exponering, sårbarhet och värdering av liv - Fallstudie Ale kommun

27 Hydrologiska och meteorologiska förhållanden i Göta älvdalen

28 Metodbeskrivning sannolikhet för skred: kvantitativ beräkningsmodell

29 Kartering av kvicklereförekomst för skredriskanalyser inom Göta älvutredningen. Utvärdering av föreslagen metod samt preliminära riktlinjer

30 Quick clay mapping by resistivity – Surface resistivity, CPTU-R and chemistry to complement other geotechnical sounding and sampling

31 Inverkan av förändringar i porvattnets kemi, främst salturlakning, på naturlig leras geotekniska egenskaper – Litteraturstudie

32 Hantering av kvicklereförekomst vid stabilitetsbedömning för Göta älv – Riktlinjer

33 Metodbeskrivning för SGI:s 200 mm diameter ”blockprovtagare” - Ostörd provtagning i finkornig jord

34 Sjömätning - Göta älv och Nordre älv

Statens geotekniska institut
Swedish Geotechnical Institute
SE-581 93 Linköping, Sweden
Tel: 013-20 18 00, Int + 46 13 201800
Fax: 013-20 19 14, Int + 46 13 201914
E-mail: sgi@swedgeo.se Internet: www.swedgeo.se