

En resipientorientert analyse av bakteriologisk tap fra avløpsnettets til Nidelva

Av Stian Bruaset, Olav Nilssen, Birgitte Gisvold Johannessen og Terje Nøst

Stian Bruaset er sivilingeniør ved SINTEF Byggforsk, avdeling Vann og Miljø (e-post: stian.bruaset@sintef.no), Olav Nilssen er sjefsingeniør i Stabsenhet for byutvikling, Birgitte Gisvold Johannessen er prosjektleder i Stabsenhet for byutvikling, og Terje Nøst er fagleder i Miljøenheten, alle i Trondheim kommune.

Sammendrag

Prosjektet, som er utført av SINTEF i samarbeid med og for Trondheim kommune, viser at målte bakterieverdier i Nidelva i Trondheim kan brukes som et nyttig verktøy for å estimere prosentandel av tap fra avløpsnettets og for å identifisere problemområder. Verdier for målte termotolerante koliforme bakterier (TKB) og vannføring i elva er brukt sammen med estimerte pe-tall i nedbørsfeltene til å beregne en verdi for tap fra avløps-systemene i de respektive avløpssonene. Tapet fra avløpsnettets er delt inn i to perioder hvor vi også har sett på årsaken til TKB-forurensing. Resultatene viser en klar forbedring av situasjonen fra første (1995-2002) til andre (2003-2009) periode, hvilket tyder på at kommunen har lyktes i sanering og drift og vedlikehold av avløpsnettets.

I perioden 2003-2009 har ca. 6.4 % av generert avløpsmengde gått tapt fra avløpsnettets på årsbasis. Mesteparten er

gått tapt via overløpsdrift mens kun en liten del skyldes det diffuse tapet fra avløpsnettets som kommer via lekkasjer og lignende. Tilsvarende tall for perioden 1995-2002 viste 13.8 % tap.

Summary

The project which is carried out by SINTEF, unit for Water and Environment in cooperation with the municipality of Trondheim, shows that measured bacteria values in the river of Nidelva in Trondheim can be used as a valuable tool to estimate the percentage of sewer loss from the sewage system and to identify problem areas. Values for measured thermotolerant coliform bacteria (TCB) and water flow in the river is employed together with estimated numbers for people in the drainage basins to calculate a value for loss from the sewer system in each of the respective areas. The measured TCB values are split into two periods of time where we also identify the causes

for contamination. The results confirm an improvement of the situation from the first (year 1995 to 2002) to the second (year 2003 to 2009) period, which allude that the municipality has succeeded with its work of rehabilitation and operation & maintenance of the sewer network.

In the period of 2003-2009 approximately 6.4 % of all amount of generated sewer has been lost from the network on an annual basis. Most of the loss is generated by discharge from overflows while only a small part can be blamed on the diffuse loss from the sewer network through leakages and incorrect connections. Equivalent numbers for the period of 1995-2002 showed a loss of 13.8 %.

Bakgrunn

Trondheim kommune har satt som miljømål for vannkvalitet at Nidelva skal være egnet for bading og sportsfiske. For å oppfylle kravene til badevannskvalitet skal ingen målinger overstige 500 TKB/100 ml. Denne artikkelen baserer seg på resultater fra et oppdrag som SINTEF har utført i samarbeid med Trondheim kommune i 2009. [1] Formålet med prosjektet har vært å utrede prosentandel av tap fra avløpsnett til Nidelva og identifisere i hvilke avløpssoner man har størst problem med dette og hvilke kilder tapet kommer fra.

Resultatene fra arbeidet brukes i hovedplan avløp og sonevise saneringsplaner i Trondheim kommune for å:

- estimere det totale tapet fra avløps-systemet
- definere problemområder med hensyn til tap fra avløpsnett

- definere hvordan ressurser skal settes inn på avløpssystemet, og vurdere om allerede benyttede ressurser har ført til forbedringer i situasjonen.

Analysetilnærming

Arbeidet er basert på en metode hvor månedlige målinger av Termotolerante Koliforme Bakterier (TKB) fra seks målepunkt i Nidelva i Trondheim gjennom perioden 1995-2009 er brukt for å beregne bakteriebelastningen. Målepunktene, vist på Figur 1, er Tiller bru, Sluppen bru, Stavne bru, Nidareid bru, Gamle bybro og Nidelv bru. Tapet er gjengitt som prosent tap fra avløpsnett, og er basert på en sammenligning av målte TKB-verdier i Nidelva mot beregnet total produksjon av TKB i nedbørfeltets avløpsnett.

TKB er valgt benyttet i denne analysen da det foreligger gode historiske dataserier på denne parameteren i Trondheim kommunes overvåkingssystem. TKB er en sub-gruppe av koliforme bakterier som hovedsaklig finnes i tarm og avføring fra mennesker og andre varmblodige dyr og er derfor en god indikator på forurensing som stammer fra avføring.

Ved hjelp av data for nedbør og temperatur fra Risvollan Urbanhydrologiske målestasjon og driftsdata for overløpene i Nidelva er TKB målingene delt opp i målinger utført på dager med og uten nedbør og dager med og uten overløpsdrift.

Pe-tilknytning til avløpsnett i avløpsområdene danner selve grunnlaget for å utrede tap fra avløpsnett. Det er



Figur 1. De seks målepunkt for TKB i Nidelva med tilførende avløpssoner og Risvollan målestasjon for temperatur og nedbør. [0].

derfor brukt informasjon om fastboende, arbeidsplasser, studenter, skoler, barnehager og institusjoner for å bestemme hvor mange pe som daglig bidrar med TKB bakterier i avløpssonene. [1] I tabell 1 er det gjengitt de gjennomsnittlige

verdier for pe som er anvendt i beregningen for tap i periodene 1995-2002 og 2003-2009. Samtidig gjengis antall pe som tilføres mellom målepunktene langs elvestrekningen. Strekningene Tiller-Sluppen og Sluppen-Stavne identifiseres

som de soner hvor det er mest tilskudd i 2009 var på rundt 169 000. av pe. Total befolkning i hele Trondheim

SONENAVN	Akkumulert pe fram til målepunkt		Pe som tilføres mellom målepunkt	
	Pe gj.snitt 1995-2002	Pe gj.snitt 2003-2009	1995-2002	2003-2009
Tiller-Sluppen	41518	45113	41518	45113
Sluppen-Stavne	71735	77948	30218	32835
Stavne-Nidareid	75204	81717	3468	3769
Nidareid-Gamle Bybro	89554	97310	14350	15593
Gamle Bybro-Nidelv Bru	97875	106352	8321	9042

Tabell 1. Antall pe som bidrar til TKB forurensing i avløpsvann til hvert målepunkt.

Inndeling av data

For å kunne identifisere forbedring eller forverring av tap fra avløpsnettets over tid har vi valgt å dele måldata inn i to perioder, 1995-2002 og 2003-2009. Inndelingen i to perioder er foretatt etter en vurdering av omfanget av tilgjengelige måldata, og behovet for tilstrekkelig antall målinger i hver gruppe til at statis-

tiske analyser kan gjennomføres. Det er utført beregninger for hver periode som så er sammenlignet for å se om TKB-konsentrasjoner i Nidelva og tapet fra avløpsnettets har minnet eller økt. Målingene i hver periode er inndelt i tre undergrupper basert på nedbørssituasjon som beskrevet i tabell 2.

I løpet av 15 år (1995-2009) er det

Nedbørssituasjon	Forklaring	Analyseformål
Tørr periode	Dager hvor nedbøren over to dager er mindre enn 3 mm og at det i vintermånedene (oktober-mars) ikke skjer snøsmelting (dvs. temperatur er lavere enn -1 grader C).	Tapet representerer diffuse tap fra lekkasjer, feilkoblinger i nettet og manglende tilknytning. I tillegg kommer tap ved akutte driftshendelser (tilstoppinger med påfølgende overrenning i felleskummer o.l.).
Våt periode Uten overløpsdrift	Definert som alle dager utenom tørr periode, og hvor de tre overløpene med størst utslipp til Nidelva ikke er i drift.	Tapet representerer forurensninger i overvannet og økt tap via lekkasjer på grunn av økt trykk i avløpsnettets.
Med overløpsdrift	Definert som de dagene de tre overløpene med størst utslipp til Nidelva er i drift.	Tapet representerer hovedsakelig tap via overløp, men også forurensninger via overvann og lekkasjer.

Tabell 2. Inndeling av målingene i underperioder basert på nedbørssituasjon.

utført 180 vannanalyser for hvert av de seks analysepunktene. For hver måling foreligger det tilhørende data for nedbør og temperatur.

For de ulike nedbørssituasjonene, jfr. tabell 2, beregnes gjennomsnittlige verdier for TKB-innhold. For TKB i tørt vær vil gjennomsnittsverdiene være sterkt påvirket av akutte hendelser i avløpsnett. Ved i tillegg å benytte median verdier for TKB i tørt vær, vil man få et estimat på det diffuse tapet fra ledningsnett som man kan forvente er til stede til enhver

tid, og som kan reduseres ved sanering. Avviket mellom gjennomsnittlig verdi og medianverdi i tørt vær vil stort sett vise tap som kan reduseres ved forbedret drift og vedlikehold av systemet.

Beregningsmetode

Ved å bruke gjennomsnittlige TKB-konsentrasjoner (og median), vannføring i Nidelva og TKB-tall/pe*d, kan man omregne de målte konsentrasjoner i Nidelva til bakteriologisk tap fra avløpsnett. Denne omregningen er basert på ligningen:

$$pe = [\text{TKB} (\#/100\text{ml}) \times Q (\text{m}^3/\text{s}) \times 10^4 \times 86400] / (\#\text{TKB}/pe, d) \quad (1)$$

der:

- TKB = Gjennomsnittlig TKB-konsentrasjon (eller median) i perioden i tørrvær/vått vær eller for alle TKB data (#TKB/100 ml)
- Q = Døgnmiddel vannvolum i Nidelva ($\text{m}^3/\text{s} \times 86\,400$)
- pe = Personekvivalent (#)
- TKB/pe*d = Termotolerante koliforme bakterier/pe/døgn – 0.75×10^{10} TKB/pe, døgn.

Tallet TKB/pe*d er en konstant som er hentet fra litteraturstudier og er basert på den totale mengde av TKB som tilføres avløpsnett fra én person i løpet av ett døgn. Kildene opererer med ulike tall, fra 0.2×10^{10} til 0.8×10^{10} fekale koliforme bakterier/pe/døgn. [2] [3] [4] Tallet varierer med hensyn på kjønn og alder. Basert på dette er tallet 0.75×10^{10} TKB/pe*d valgt å bruke i beregningene. [1] Beregningene vil være påvirket av den usikkerhet som er knyttet til denne verdien. Usikkerheten vil likevel ikke påvirke sammenligningen mellom de to

periodene og vurderingene knyttet til årsaken til forurensningen.

Resultater

TKB-konsentrasjoner kontra beregnede verdier for fluks

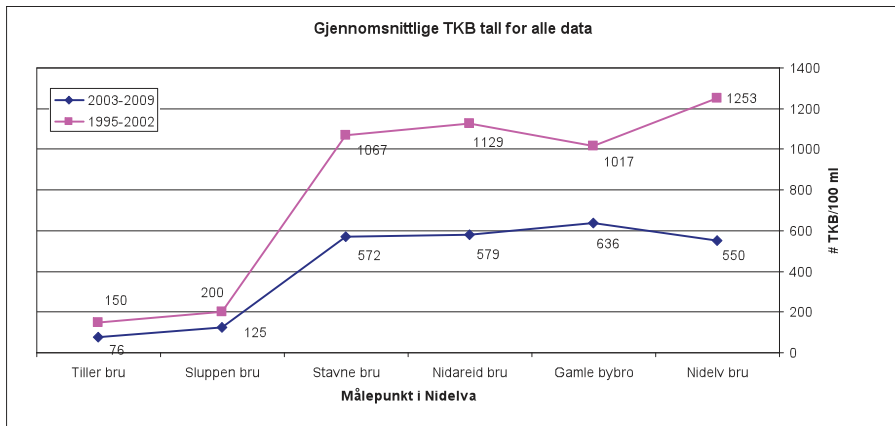
Resultatene fra rapporten [0] viser at konsentrasjoner og fluks for TKB i Nidelva samvarierer. Årsaken til dette er at vannføringen i Nidelva er stabil og påvirkes relativt lite av nedbør. Vassdraget er regulert for elkraft produksjon som medfører at det er satt en minste vannføring på $30 \text{ m}^3/\text{s}$ på gjeldende strekning.

Derfor presenteres TKB-konsentrasjoner i Nidelva som grunnlag for å bestemme forurensingsnivået i elva.

TKB-konsentrasjoner

Figur 2 viser at gjennomsnittlige TKB-konsentrasjoner i alle punkter langs elva har en nedgang fra perioden 1995-2002 til 2003-2009. Dette kan forklares med en rekke saneringstiltak som er utført siden forrige periode, og at det har vært økt fokus på bedre drift og vedlikehold av systemet. Mest nedgang, både kvanti-

tativt og prosentvis sett, er det ved Nidelv bru, hvor det er en total nedgang på 53 % av målte TKB tall. I perioden 1995-2002 gikk TKB tallet opp mellom Gamle bybro og Nidelv bru, mens det i siste periode går ned. Dette betyr at tilførsel av TKB mellom disse målepunktene har gått en del ned. Nidelva får mest tilførsel av TKB mellom Sluppen og Stavne bru, hvor de to overløpene med mest driftstid i Trondheim kommune er plassert, og også hvor det største tilskuddet av pe langs elva er lokalisert.



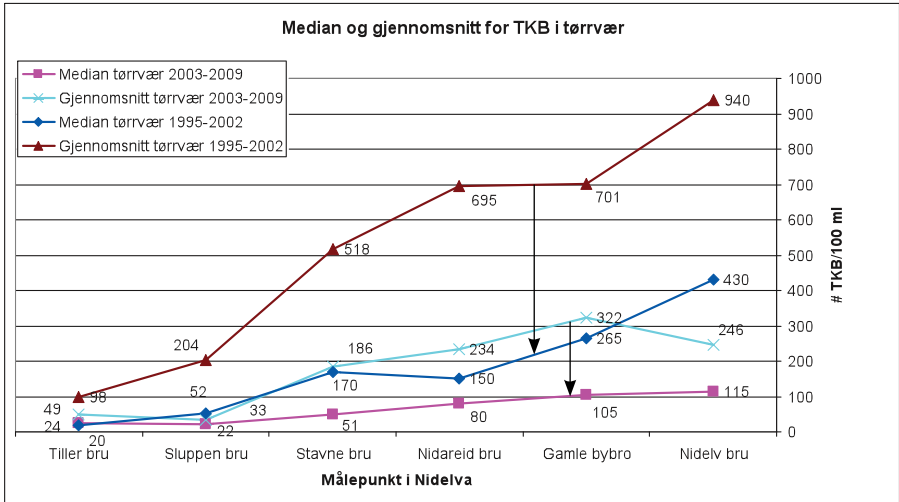
Figur 2. Gjennomsnittlige TKB-tall for alle data, sammenligning av periodene 1995-2002 og 2003-2009 [1]

Figur 3 viser at konsentrasjoner både for median og gjennomsnitt for TKB-data i tørrvær ligger lavere i 2003-2009 enn for tilsvarende punkt i 1995-2002. Dette tyder på en reduksjon i tap fra nettet i alle deler av elva.

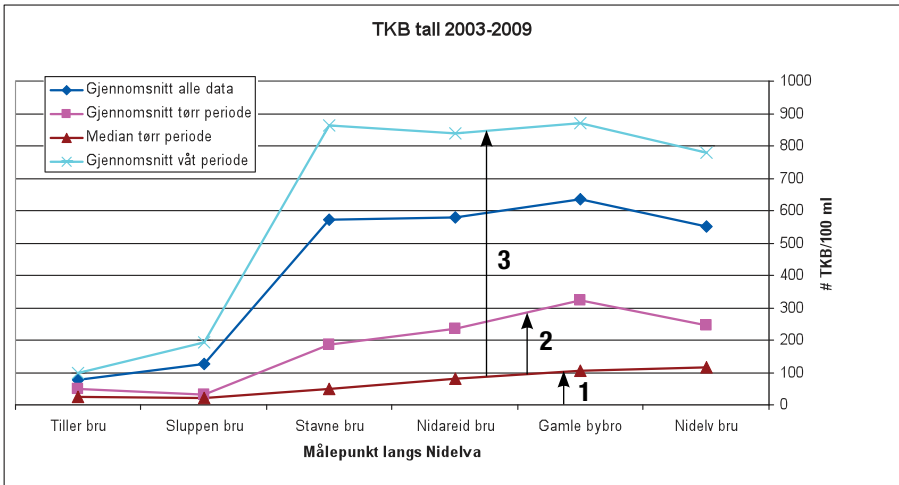
Pilene på figur 3 viser avstanden mellom grafene for gjennomsnitt og median i samme periode. Avstanden illustrerer potensialet for forbedret drift og vedlike-

hold av avløpssystemet. Denne avstanden er blitt mindre fra første til andre periode, noe som er en indikasjon på at drift og vedlikehold er blitt bedre, og at det er blitt færre akutte hendelser i avløpsnettet. I andre periode eksisterer det likevel et potensial for forbedring for alle punkter nedstrøms Sluppen bru.

Figur 4 viser en sammenligning av TKB-konsentrasjoner i vått vær, tørt vær og



Figur 3. Median og gjennomsnitt for TKB i tørrvær, sammenligning av periodene 1995-2002 og 2003-2009. [1]



Figur 4. Sammenligning av TKB-konsentrasjoner i vått vær, tørt vær og for alle data i perioden 2003-2009. [1]

for alle data i perioden 2003-2009. En tolkning av resultatene kan gi oss en fordeling av tap på ulike årsaker. De tre pilene på figur 4 representerer følgende tap:

- 1) "Diffus" tap fra nettet via lekkasjer, feilkoblinger og lignende i tørre perioder, illustrert ved medianverdier i tørr periode

- 2) Økt tap i tørre perioder på grunn av driftsforstyrrelser på nettet, slikt som kloakktilstopper, illustrert ved gjennomsnittsverdier i tørr periode
- 3) Økt tap i våte perioder. Det økte TKB-tallet skyldes overvannstilrenning, utslipp via overløp og økt tap via lekkasjer på grunn av økt trykk i avløpsnettet, illustrert ved gjennomsnitt i våt periode.

Sluppen og Stavne bru, og den største tilførselen skjer i ”våte” perioder.

Beregnet tap fra avløpsnettet

Tabell 3 og tabell 4 gjengir resultatene etter beregning av tap fra avløpsnettet beregnet med formel (1). Tap er beregnet for konsentrasjoner av TKB basert på alle data og for TKB målt på tørre dager, våte dager, våte dager med overløpsdrift og våte dager uten overløpsdrift.

Det største tilskuddet av TKB-konsentrasjon til Nidelva kommer inn mellom

SONE	Tap fra avløpsnettet i perioden 1995-2002 [Tap angitt i %]					
	Alle data	Tørrvær gj.snitt	Tørrvær median	Vått vær	Vått m/overløp	Vått u/overløp
Oppstrøms Tiller						
Tiller-Sluppen	5.6	5.9	1.5	5.4	7.4	2.3
Sluppen-Stavne	17.4	8.6	2.8	25.1	38.8	3.2
Stavne-Nidareid	17.5	11.1	2.4	18.8	28.4	3.3
Nidareid-Gamle By	13.3	9.4	3.5	16.8	24.3	4.5
Gamle Bybro-Nidelva	15.0	11.5	5.3	18.1	26.2	4.9
MIDDEL	13.8	9.3	3.1	16.8	25.0	3.6

Tabell 3. Tap fra avløpsnettet til Nidelva mellom 1995-2002 [1]

SONE	Tap fra avløpsnettet i perioden 2003-2009 [Tap angitt i %]					
	Alle data	Tørrvær gj.snitt	Tørrvær median	Vått vær	Vått m/overløp	Vått u/overløp
Oppstrøms Tiller						
Tiller-Sluppen	3.0	0.8	0.5	4.8	6.3	1.1
Sluppen-Stavne	8.1	2.6	0.7	12.4	16.7	1.5
Stavne-Nidareid	7.8	3.1	1.1	11.5	15.0	2.7
Nidareid-Gamle By	7.2	3.6	1.2	10.0	13.3	1.9
Gamle Bybro-Nidelva	5.7	2.5	1.2	8.2	10.6	2.2
MIDDEL	6.4	2.5	0.9	9.4	12.4	1.9

Tabell 4. Tap fra avløpsnettet til Nidelva mellom 2003-2009 [1]

Tabellene viser at det totale tapet fra avløpsnettet har gått ned fra 13.8 % til 6.4 % fra første til andre periode. I begge periodene kommer det største bidraget for tap i våte perioder hvor overløpene er i drift. Størst tap fra avløpsnettet lokaliseres mellom målepunktene Sluppen og Stavne bru.

Saneringstiltakene som er gjort, har ført til mindre forurensing av Nidelva både i tørre og våte perioder. For våt periode med overløpsdrift er det registrert en reduksjon i tap på ca 50 % fra perioden 1995-2002 til perioden 2003-2009. For median i tørr periode registreres det opp mot 75 % nedgang av TKB-verdier fra pe-

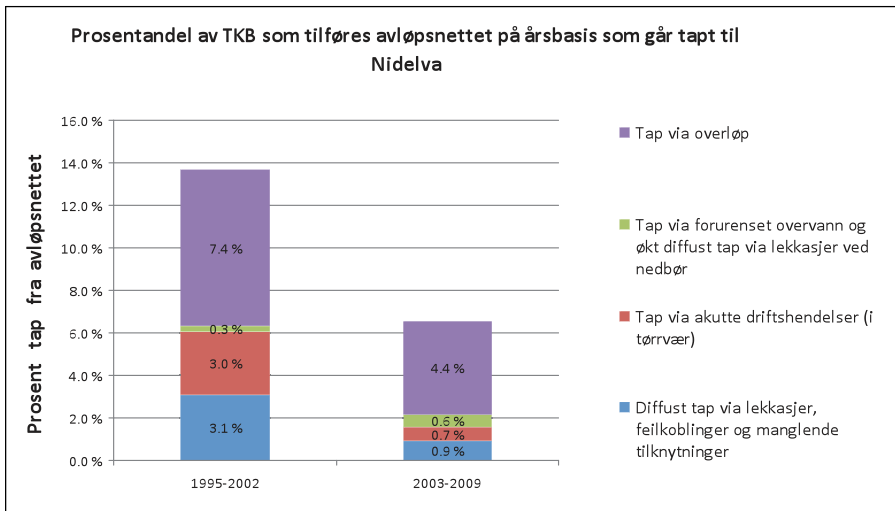
rioden 1995-2002 til perioden 2003-2009. Dette viser at innsatsen knyttet til sanering av ledningsanlegg, og til sporing av feilkoblinger og direkteutslipp har gitt resultater. For gjennomsnitt i tørr periode registreres det en nedgang opp mot 70 %. Dette betyr at fokus på god drift og vedlikehold av systemet er med på å minske antall akutte driftshendelser som gir kritiske TKB-utslipp i tørre perioder.

Sammenstilling av resultater

Basert på de beregnede tap ved ulike nedbørssituasjoner, er det foretatt en sammenstilling av de ulike tapene fordelt på årsak/kilde, og hvilken størrelsesorden de utgjør totalt over en årsperiode. Sammenstillingen er vist i figur 5, og er basert på følgende forutsetninger:

- 1) Diffust tap fra lekkasjer, feilkoblinger i nettet og manglende tilknytning er basert på beregnet tap i tørr periode

- (medianverdier). Dette tapet antas å finne sted hele tiden uavhengig av nedbørssituasjon.
- 2) Tap ved akutte driftshendelser (tilstoppinger med påfølgende overrenning i felleskummer og lignende) er basert på beregnet tap i tørr periode (gjennomsnittsverdier) fratrukket diffust tap. Dette tapet antas kun å finne sted i tørr periode, da tilstoppinger ofte løser selv seg når vannføring øker ved nedbørshendelser.
- 3) Tap via forurensninger i overvannet og økt tap via lekkasjer på grunn av økt trykk i avløpsnettet er basert på beregnet tap i våt periode uten overløpsdrift, fratrukket diffust tap. Dette tapet antas å finne sted i hele den våte perioden, både med og uten overløpsdrift.
- 4) Tap via overløp er basert på beregnet tap i våt periode med overløpsdrift,



Figur 5. Sammenstilling av de beregnede tapene.

fratrukket diffust tap og tap via overvann og økte lekkasjer i vått vær.

Konklusjon

Analysen har vist at det har vært en signifikant nedgang i tilførsel av bakteriell forurensning til Nidelva fra avløpssystemet fra perioden 1995-2002 til perioden 2003-2009. Både trendanalyser og beregning av bakteriologisk tap viser at Trondheim kommune har lyktes med å minke tilførsel av TKB til Nidelva både gjennom sanering og forbedret drift og vedlikehold av avløpssystemene. Analysen viser at det største tapet finner man på strekningen Sluppen-Stavne-Nidareid. Fokus på forbedring av avløpsnettets framover bør være på de avløpssoner som drenerer til disse punktene, noe som stemmer godt overens med kommunens langtidsprogram hvor forbedring i forholdene rundt de store overløpene på denne strekningen er prioriterte oppgaver.

Analysen har gitt svar på i hvilken størrelsesorden tapene ligger, og en indikasjon på fordeling av tapene på ulike årsaker/kilder. Av totalt generert avløpsmengde på årsbasis har tapet fra avløpsnettets gått ned fra 13.8 % til 6.4 % fra første til andre periode.

Analysen har vist seg å være en god metode for å måle effekten av de tiltak som gjennomføres. Ved å gjenta metoden med 5 års mellomrom har man et verktøy som kan benyttes for å kontrollere måloppnåelse.

Referanser

Stian Bruaset, Herman Helness, Ingrid Selseth. 2009. *En resipientorientert analyse av bakteriologisk tap fra avløpsnettets til Nidelva – oppdatering med nye data og inkludering av Leirelva*. SINTEF rapport.

Milina, Jadranka og Selseth, Ingrid. 2004. *En resipientorientert analyse av bakteriologisk tap fra avløpsnettets*. SINTEF rapport STF22 A04700.

McKinney, Michael L. og Schoch, Robert M. 2003. *Environmental Science. Systems and solutions*. Third Edition. Jones and Bartlett Publishers.

Russell, David L. 2006. *Practical wastewater treatment*. Publishers: John Wiley & Sons, Inc.