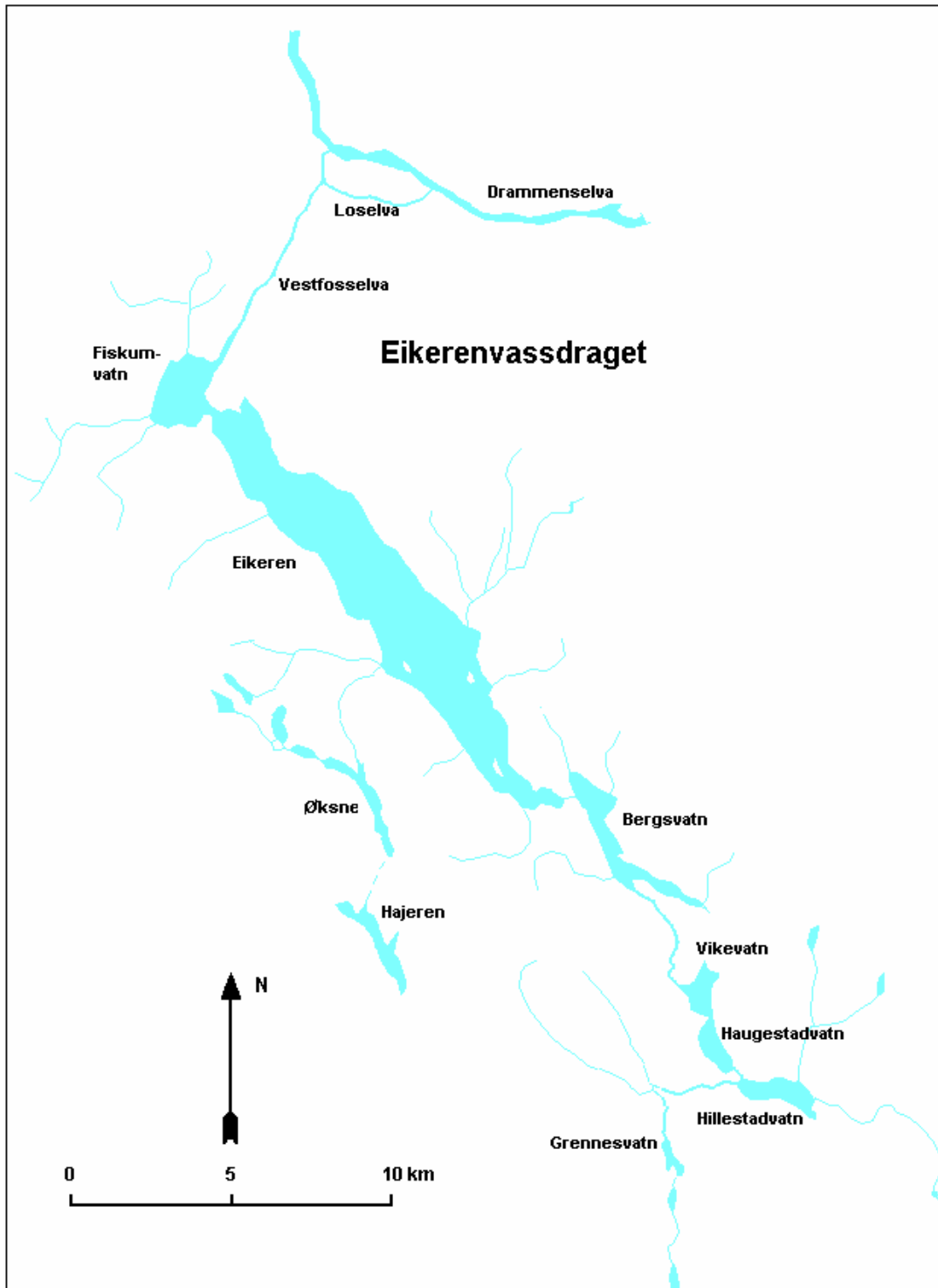




Rapport 4149-99
Eikeren som ny drikkevannskilde for Vestfold

**Endret mønster for høy og lav vannstand,
og risiko for økt erosjon og utrasing i
Eikeren og Vestfosselva /Loselva**



Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås
0411 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internet: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5
5008 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Akvaplan-NIVA A/S

9015 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

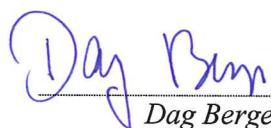
Tittel Eikeren som ny drikkevannskilde for Vestfold	Løpenr. (for bestilling) 4149-99	Dato 02.12.99
	Prosjektnr. Undernr. 99159	Sider Pris 22
Forfatter(e) Torulv Tjomsland, Nils Roar Sælthun og Dag Berge	Fagområde Hydrologi	Distribusjon Fri
	Geografisk område Vestfold	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Vestfold Interkommunale Vannverk (VIV)	Oppdragsreferanse Sverre Mollatt
--	-------------------------------------

Sammendrag

Uttak av vann fra Eikeren til Vestfold interkommunale vannverk (VIV) vil medføre at kjøringen av kraftstasjonen ved Vestfossen må endres. Fra lokalt hold er man redd for at vannførings- og vannstandsvariasjone vil bli hyppigere og større, slik at det er fare for erosjon og utrasing langs stredene i Eikeren, Fiskumvatnet og særlig langs Vestfosselva/Loselva. Uttaket av drikkevann fra VIV vil ifølge simuleringene i liten grad endre vannstanden i Eikeren i forhold til i dag uansett strategi for kjøring av kraftstasjonen ved Vestfossen innen konsesjonens grenser. Stredene langs Eikeren/Fiskumvatn som i dag anses som lite erosjonsutsatte vil også forbli dette i fremtiden. Økt drikkevannsuttak vil øke varigheten av lave vannføringer i Vestfosselva. Ved å redusere vannføringen reduseres vannets eroderende kraft, slik at dette generelt ikke skulle ha noen uheldig virkning. Ved stigende vannføring blir forholdet motsatt. Det mest ugunstige scenariet er lang tid med minste vannføring fulgt av en rask økning til høy vannføring, f.eks. til 20 m³/s, med varighet som blir opprettholdt i minst et halvt døgn. Området like nedenfor fossen blir mest utsatt. Imidlertid består elveløpet der av grovt materiale, stein og grus, slik at det ikke skulle være noen fare for uønsket erosjon. Lenger ned vil siltig materiale som ligger på bunnen bli erodert og transportert nedover. Vannets fart, som i middel for tverrsnittet neppe vil overskride 0.5 m/s, er såpass lav at elven generelt kan betegnes som sakteflytende og lite erosjonsutsatt. Da vi ikke kan påvise spesielle utsatte strekninger med større gradient og bratte kanter i yttersving m.m., anser vi det for meget lite sannsynlig at det vil oppstå uheldige effekter som følge av erosjon. En eventuell økning av antall ganger av prosedyren reduksjon og påslipp av vann i løpet av året vil neppe få påviselige følger.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Drikkevannsforsyning 2. Vannstandsvariasjon 3. Erosjon 4. Eikeren 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Drinking water supply 2. Water level fluctuation 3. Erosion 4. Lake Eikeren
--	--



Dag Berge
Prosjektleder



Dag Berge
Forskningsleder



Nils Roar Sælthun
Forskningssjef

Norsk institutt for vannforskning
Oslo

O-99159

**Endret mønster for høy og lav vannstand
Risiko for økt erosjon og utrasing i Eikeren og
Vestfosselva /Loelva**

Oslo 02.12.99
Prosjektleder:
Medarbeider:

Dag Berge
Torulv Tjomsland
Nils Roar Sælthun

Forord

Undersøkelsen er er del av KU-utredningene i forbindelse med utbygging av Eikeren som ny vannkilde for Vestfold Interkommunale Vannverk. Undersøkelsen ble kontraktsfestet i September 1999. Oppdragsgivers kontaktpersoner har vært direktør Sverre Mollatt og arkitekt Harald Schulze.

Modellsimuleringene av hvordan uttaket av drikkevann vil påvirke vannstandsvariasjonene i Eikeren og Fiskumvatn er utført av Nils Roar Sælthun, NIVA (hydrolog). Modellsimuleringene av vannføring og vannstand i Vestfosselva etter VIV-utbyggingen er utført av Torulv Tjomsland, NIVA (Hydrolog). Disse to hydrologene har også vært på befaring og vurdert hvor eroderbar strandsonen er rundt innsjøene samt langs Vestfosselva og Loselva. Under befaringen ble det arrangert opp- og nedkjøring av kraftverket fra 20 m³/s til minstevannføring. Minstevannføringen ble holdt i normale perioder. Dag Berge har vært prosjektleder for undersøkelsen og stått for sammenstillingen til rapport.

Oslo 02.12.99

*Dag Berge
Prosjektleder*

Innholdsfortegnelse

1	Konkluderende sammendrag	6
2	Innledning	7
2.1	Problemstilling	7
2.2	Beskrivelse av vassdrag og nedbørfelt	7
3	Endret vannstand i Eikeren og Fiskumvannet, samt vannføring i Vestfosselva.....	10
3.1	Hydrologisk grunnlag for Eikerenvassdraget	10
3.2	Magasiner i Eikerenvassdraget.....	11
3.3	Kraftverk i Eikerenvassdraget	11
3.3.1	Hakavik.....	11
3.3.2	Eidsfoss.....	11
3.3.3	Vestfossen.....	11
3.4	Simuleringer	12
4	Endret vannføring ved Vestfossen - hydraulisk respons nedover i Vesfosselva	16
4.1	Observasjoner under befaringen.....	16
4.2	Simuleringer	17
5	Diskusjon – konklusjoner	21
6	Referanser.....	22

1 Konkluderende sammendrag

Uttak av vann fra Eikeren til Vestfold interkommunale vannverk (VIV) vil medføre at kjøringen av kraftstasjonen ved Vestfossen må endres. Fra lokalt hold er man redd for at vannførings- og vannstandsvariasjoner vil bli hyppigere og større, slik at det er fare for erosjon og utrasing langs strendene i Eikeren, Fiskumvatnet og særlig langs Vestfosselva/Loselva.

Uttaket av drikkevann fra VIV vil ifølge simuleringene i liten grad endre vannstanden i Eikeren i forhold til i dag uansett strategi for kjøring av kraftstasjonen ved Vestfossen innen konsesjonens grenser. Strendene langs Eikeren/Fiskumvatn, som i dag anses som lite erosjonsutsatte, vil også forbli dette i fremtiden.

Økt drikkevannsutttak vil øke varigheten av lave vannføringer i Vestfosselva. Ved å redusere vannføringen reduseres vannets eroderende kraft, slik at dette generelt ikke skulle ha noen uheldig virkning. Ved stigende vannføring blir forholdet motsatt. Det mest ugunstige scenariet er lang tid med minstevannføring fulgt av en rask økning til høy vannføring, f.eks. til $20 \text{ m}^3/\text{s}$, med varighet som blir opprettholdt i minst et halvt døgn. Området like nedenfor fossen blir mest utsatt. Imidlertid består elveløpet der av grovt materiale, stein og grus, slik at det ikke skulle være noen fare for uønsket erosjon. Lenger ned vil siltig materiale som ligger på bunnen bli erodert og transportert nedover. Vannets fart, som i middel for tverrsnittet neppe vil overskride 0.5 m/s , er såpass lav at elven generelt kan betegnes som sakteflytende og lite erosjonsutsatt. Strømmens fart i overflaten og i midten av elveløpet er selvfølgelig større enn vannets middelfart. Da vi ikke kan påvise spesielle utsatte strekninger med større gradient og bratte kanter i yttersving m.m., anser vi det for meget lite sannsynlig at det vil oppstå uheldige effekter som følge av erosjon. En eventuell økning av antall ganger av prosedyren reduksjon og påslipp av vann i løpet av året vil neppe få påviselige følger.

2 Innledning

2.1 Problemstilling

Uttak av vann fra Eikeren vil medføre at kjøringen av kraftstasjonen ved Vestfossen må endres. Fra lokalt hold er man redd for at vannførings- og vannstandsvariasjone vil bli hyppigere og større, slik at det er fare for erosjon og utrasing langs strendene i Eikeren, Fiskumvatnet og særlig langs Vestfosselva/Loselva.

2.2 Beskrivelse av vassdrag og nedbørfelt

Eikeren har et nedbørfelt på 350 km² fordelt på Nordre Vestfold og Nedre Buskerud, Figur 2.1.

Innsjøen drenerer gjennom et smalt sund til Fiskumvatn og videre via Vestfosselva til Drammenselva ved Hokksund.

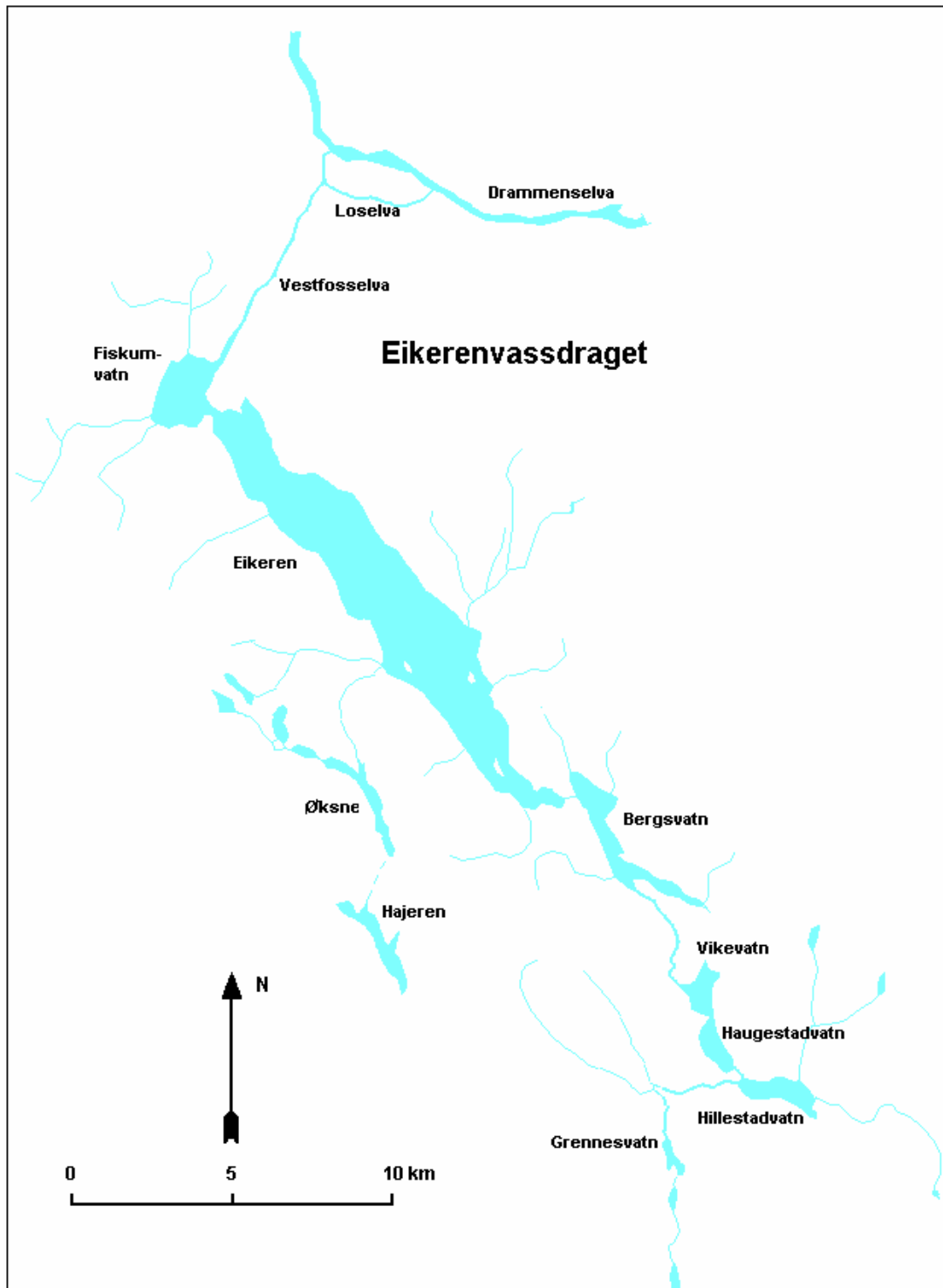
Eikeren har et overflateareal på 26 km². Middeldyp og største dybde er på henholdsvis 94 m og 156 m. Midlere avløp er 7 m³/s. Ved utløpet av Fiskumvatnet er nedbørfeltet på 506 km². Overflatearealet av Fiskumvatnet er 3 km², middeldypet 6 m, største dyp 20 m og midlere avløp 10 m³/s. Innsjøene ligger 18 m over havet.

Ved Vestfossen, ved utløpet av Fiskumvatnet, ligger Vestfossen kraftstasjon, Figur 2.2. Vannet kan ledes gjennom kraftstasjonen eller slippes forbi i det naturlige elveløpet over fossen. Vestfosselva deler seg etter 4.5 km i to løp og kalles da Loselva. Loselva renner ut i Drammenselva i en avstand fra Vestfossen på henholdsvis 5.5 km og 8 km. Totalt nedbørfelt er 513 km². Nedstøms Vestfossen har elveløpet en meget slak helning. Karakteristisk elvebredde er 40 m.

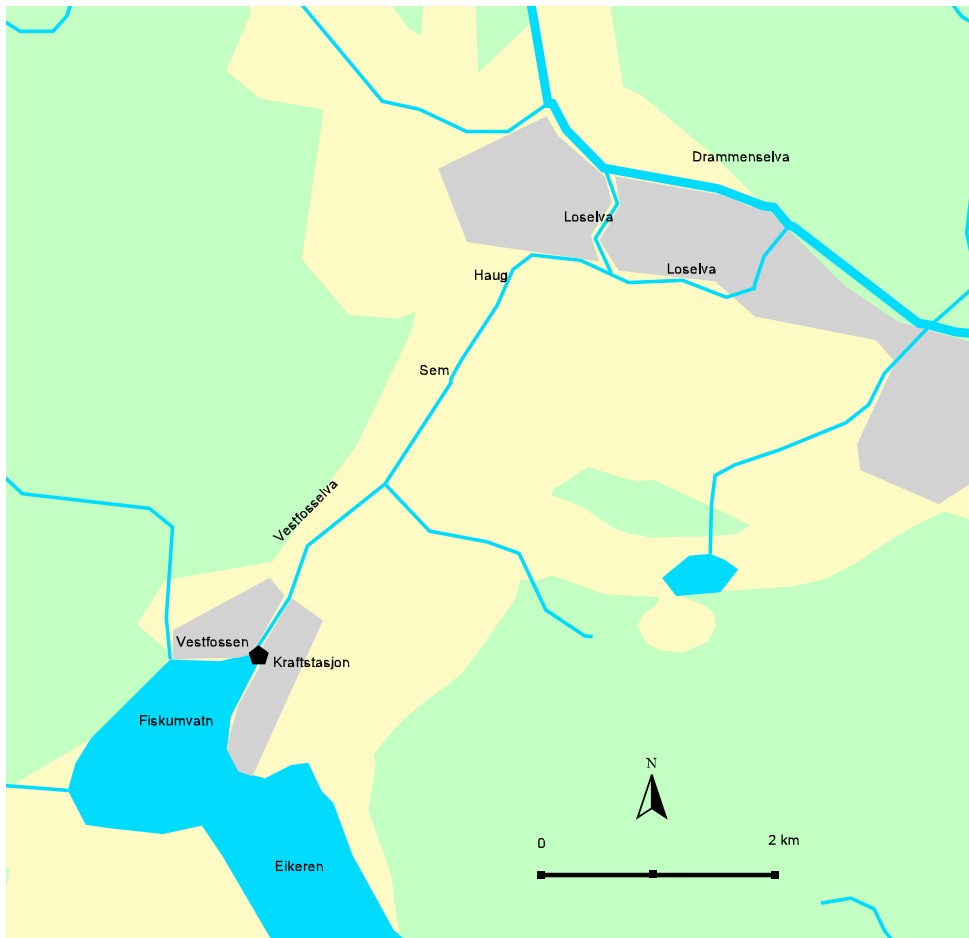
Like nedenfor Vestfossen består elvebunnen av grus og stein. Videre nedover renner elven i silt og leirholdig materiale. Området ligger under marin grense. Løsmassene består av fint materiale avsatt i hav under siste istid.

Ved Vestfossen og nederst mot Drammenselva er elven omgitt av tett bebyggelse. For øvrig renner den gjennom områder med jordbruksland. Det er vegetasjon, fortrinnsvis grass og busker, helt ned til elvebredden.

Kraftstasjonen ved Vestfossen kjøres på vannføringer over 6 m³/s. Ved lavere vannføringer stopper kraftproduksjonen og det slippes en minstevannføring i elva på 1.3 m³/s.



Figur 2.1 Oversiktskart over Eikeren og Fiskumvatnets nedbørfelt



Figur 2.2 Oversiktskart over Vestfosselva. Gult: dyrket mark, grønt: skog, grått: tett bosetning

3 Endret vannstand i Eikeren og Fiskumvannet, samt vannføring i Vestfosselva

3.1 Hydrologisk grunnlag for Eikerenvassdraget

De hydrologiske grunnlagsdata for Eikerenvassdraget er:

Felt	Areal km ²	Spesifikt avløp l/s km ²	Årlig avløp mill m ³
Eidsfoss	179	20.0	112.9
Hajeren (overført)	15	20.0	9.5
Eikeren	163	20.0	98.5
Fiskumvannet	156	17.5	86.1
Sum	513		307.0
Vannmerker:			
vm 12.193.0 Fiskum (1977-97)	49.9	15.3	24.1
vm 12.192.0 Sundbyfoss (1977-97)	79.9	21.1	53.3

Kilde: NVE, etter brev fra Berdal til Øvre Eiker Elverk 4. des 1987 og 15. feb 1988. Data for 12.193.0 Fiskum fra NVE 1. mars 1999, 12.192.0 Sundbyfoss 26. april 1999.

12.193.0 Fiskum og 12.192 Sundbyfoss har vært i drift siden 1976, og vurderingene er basert på data fra disse to stasjonen.

Årsavløpet for Fiskum har variert fra 14.8 mill m³ i 1989 til 42.9 mill m³ i 1988. Den tørreste sommeren (mai-september) for observasjonsperioden er 1989, med et tilsig på 1.6 mill m³ for vannmerket. Skalert til lokalfeltet for Eikeren/Fiskumvannet tilsvarer dette 11.3 mill m³, for hele feltet 20.8 mill m³. Den tørreste vinteren (november - mars) er 1995/96, med bare 0.71 mill m³ tilsig, tilsvarende 9.1 mill m³ for hele feltet. Dette er en ekstrem situasjon, det nest tørreste året har dobbelt så stort tilsig (1985/86). Til sammenligning utgjør fullt uttak til vannforsyning for Vestfold (1200 l/s) 15.9 mill m³ over fem måneder.

3.2 Magasiner i Eikerenvassdraget

Navn	Areal km ²	HRV m	LRV m	Volum mill m ³	Lokaltilsig g mill m ³ /år	Totaltilsig mill m ³ /år
Bergsvatnet	2.9	36	30	12.4	112.9	112.9
Hajern/Øksenvannet		412.80	403.0	30.0	27.6	27.6
Eikeren/Fiskumvann	27/2	19.00	17.50 ¹	44.0 ²	80.4/86.1	307.0
Sum				86.4	307.0	

Følgende referanseserier for tilsig er benyttet:

Navn	Lokaltilsig mill m ³ /år	Referanseserie
Bergsvatnet	112.9	12.192.0
Hajern/Øksenvannet	27.6	12.192.0
Eikeren/Fiskumvann	80.4/86.1	12.193.0

3.3 Kraftverk i Eikerenvassdraget

3.3.1 Hakavik

Hakavik har fire aggregater, men bare to er i bruk. Aggregat I, som har høyest virkningsgrad kjøres mesteparten av året, mens aggregat III kjøres om vinteren. Ved 2 MW effekt bruker aggregat I 385 l/s og aggregat III 645 l/s. Virkningsgrad ble målt i 1990 av Statkraft (Erik Rud). Kraftverket har en magasineringsgrad på over 100%, og står gjerne i sommermånedene. Det eneste konsesjonsvilkåret er at Hajern (ikke Øksenvannet) holdes på 410.40 utover sommeren - til 10. september.

Kraftverket har kort levetid i sin nåværende form - rørgaten er pålagt utskiftet, noe som nok vil føre til større endringer.

3.3.2 Eidsfoss

Eidsfoss har to aggregat, hver med en kapasitet på 2-3 m³/s. Det er ingen konsesjonspålegg for kraftverket, bortsett fra en selvpålagt målsetning om å holde Bergsvatnet høyt om sommeren. Det vil i praksis si at man kjører tilsiget om sommeren. Regulerings høyden (6 m) er en stor del av fallhøyden, så det vil normalt ikke være hensiktsmessig å tappe Bergsvatn langt ned.

3.3.3 Vestfossen

Vestfossen har ett aggregat med merkeeffekt 2.8 MW (bestpunkt 2.5 MW). Vannføringen gjennom aggregatet kan varieres fra 6.0 til 20 m³/s. Undervannet er på ca 2.5 m.o.h.

Konsesjonspåleggene er:

Minstevannføring nedstrøms 1.3 m³/s.

Minstevannstand i Eikeren/Fiskumvannet 17.80 fra 5/5 til 30/9.

Konstant vannstand fra 10/5 til 10/6 (av hensyn til hekkende fugl).

Det er en fordel å kjøre jevnt nær 6.0 m³/s i perioder med lavt tilsig for å unngå å måtte tappe minstevannføringen forbi kraftverket.

¹ Reell laveste vannstand. Nominell LRV er 17.12, men den kan ikke nås uten oppmudring i utløpet.

² Reelt nyttbart volum. Nominelt magasinivolum er 53.9

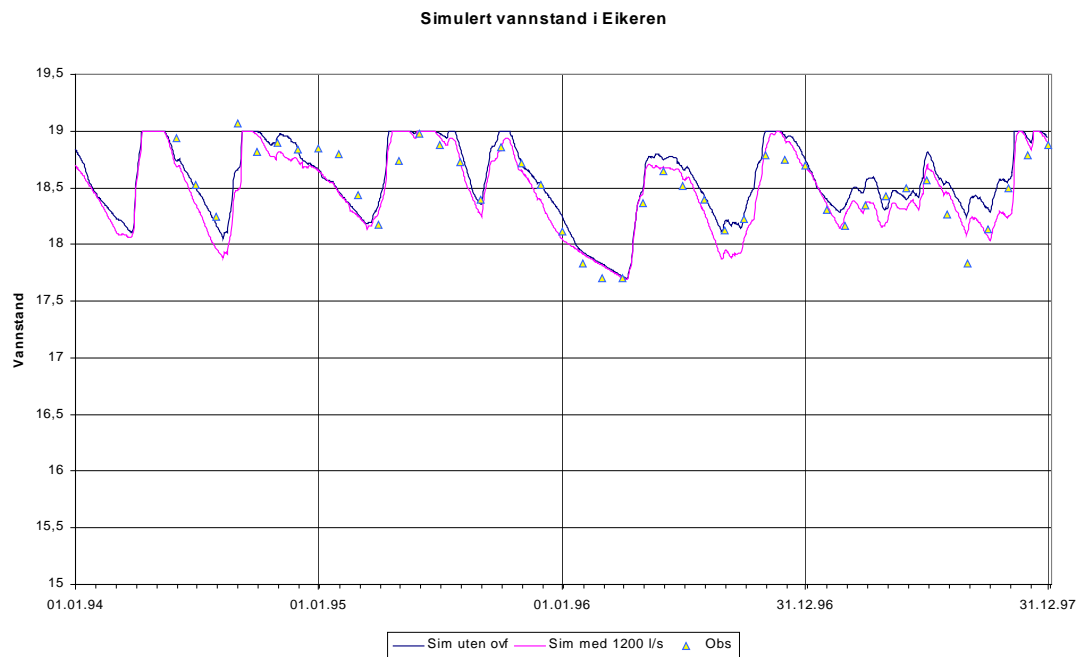
3.4 Simuleringer

Det er utført enkle simuleringer av systemet Eidsfoss/Hakavik/Eikeren/Vestfossen på døgnbasis for 21-årsperioden 1977 til 1997. Simuleringsmodellen som er benyttet er ENMAG (utviklet av professor Ånund Killingtveit, Institutt for vassbygging, NTNU). Dette er en modell, som navnet antyder, bare håndterer et magasin. Dette er ikke noe problem for dette systemet, siden de tre kraftverkene opereres uavhengig. Det er altså gjort tre simuleringer, en for Bergsvatn/Eidsfoss, en for Øksnevn/Hakavik, og en for Eikeren/Vestfossen. Fordeling mellom Eikeren og Fiskumvann er gjort ved uavhengige regnearkberegninger.

Det er ikke lagt vekt på å optimalisere kraftverksdriften, men på å få fram simuleringer som er i rimelig overensstemmelse med dagens drift. For Hakavik er nedstengingen om sommeren gjort noe mer langvarig enn den normalt er i dag, siden dette kan være kritisk for strømmen mellom Eikeren og Fiskumvann. For Eikeren/Fiskumvann/Vestfossen er simuleringen primært utført for alternativene uten vannuttak til Vestfold og med et konstant uttak på 1200 l/s. Uttak på 200 l/s er også simulert, men dette gir marginale utslag.

De første simuleringen (Sælthun 1999) ble gjort uten historiske data fra Vestfossen kraftverk. Øvre Eiker Energiverk har velvilligst stilt kjøreloggen for kraftverket for perioden 1994-99. Disse dataene har gitt mulighet for å justere modellens kjørestrategi for kraftverket til en mer realistisk representasjon av dagens kjørestrategi. Modellens strategi er en sesongvariabel fastkraftproduksjon med siktemagasinkurver (maksimum- og minimumsnivå varierende gjennom året).

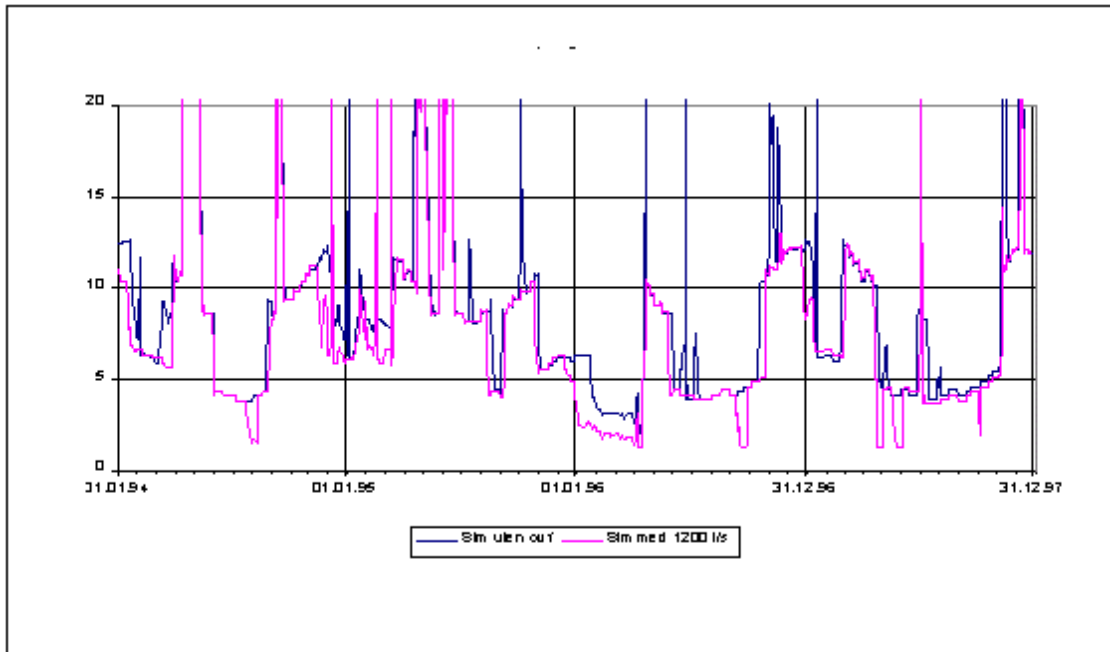
Simuleringene av vannstand i Fiskumvannet, etter modifisert kjørestrategi, er vist i Figur 3.1.



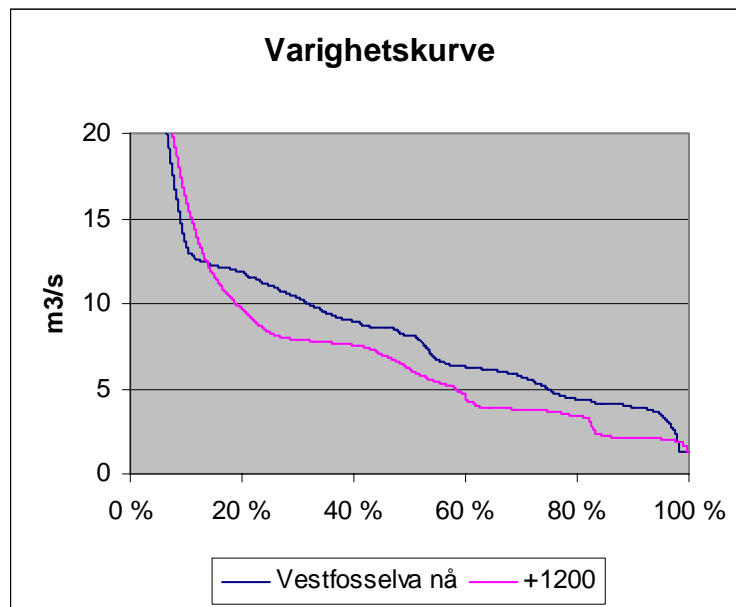
Figur 3.1 Simulert og observert vannstand i Fiskumvannet

Figuren viser også vannstandene simulert ved et uttak på 1200 l/s. Vannstandsvariasjonene blir noe større, men ikke dramatiske. Vannivået kan typisk bli 20 cm lavere ved laveste nedtapping på ettersommer/høst.

Simulerte vassføringer for samme periode i Vestfosselva er vist i Figur 3.2, med og uten uttak av vann. Det skal understrekes at dette er simulerte, ikke observerte vassføringer. Figur 3.3 viser varighetskurver for vassføringen - for hele perioden. Dataene er her, som i alle figurer, døgnaverdier.



Figur 3.2 Simulert vannføring i Vestfosselva



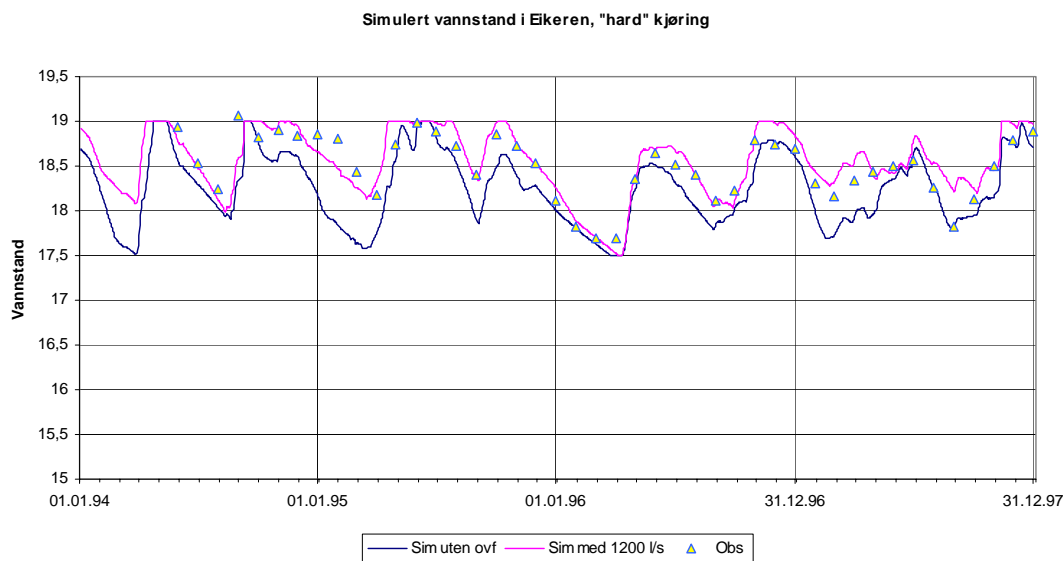
Figur 3.3 Varighetskurve for vannføringen i Vestfosselva, simulert nåsituasjon og med 1200 l/s drikkevannsuttak.

Dagens kjørestrategi er ikke spesielt hard, det er sjelden magasinet kjøres langt ned. Den gir muligheter for å sikre levering av opptil 1200 l/s uten særlige omlegginger. Antallet døgn med stopp i kraftverket og tapping av minstevassføring øker imidlertid signifikant.

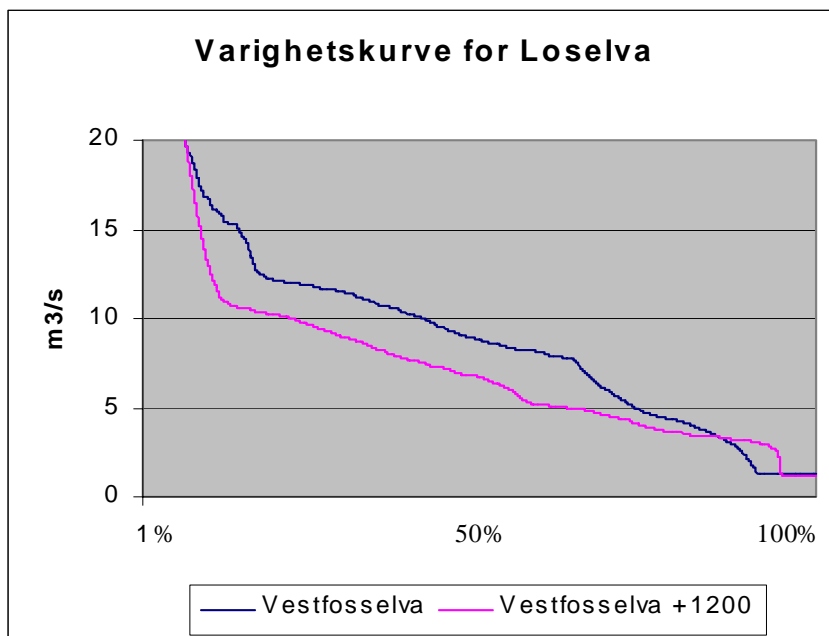
Det er mulig å kjøre systemet hardere - et eksempel er vist i Figur 3.4. Slik kjøring gir redusert flomtap og dermed i prinsippet større produksjon, men gir både problemer med å overholde restriksjonene i Fiskumvannet, og lange perioder med pendlende kjøring i kraftverket (stopp med tapping av minstevassføring), noe som er ugunstig både for kraftverksdriften og miljøet. En slik kjørestrategi gir ikke noe spillrom for uttak av vann til Vestfold - da ville man svært ofte ikke ha nok magasin til både å opprettholde minstevassføring i elva og dekke vannleveranse. Kjørestrategien må være langt forsiktigere, i praksis omtrent den samme som man ville få med utgangspunkt i dagens kjørestrategi (Figur 3.4 og Figur 3.5). Med et slikt utgangspunkt, ville man altså fått det litt paradoksale resultatet at uttak av vann til Vestfold fører til en "snillere" kjøring av Eikerensystemet, ut fra behovet for å holde større magasinreserver for å møte perioder med ekstremt lavt tilsig.

Hvor mye frekvensen med "nedpendlinger" til minstevassføring vil øke ved 1200 l/s uttak kan leses ut fra modellsimuleringene. Disse resultatene er imidlertid usikre, da det er stor frihet i å velge kjørestrategi, selv under alle de restriksjonene dette systemet ville være underlagt. Våre simuleringer antyder at man i "nåsituasjon" vil pendle ned ca 80 dager i året, økende til 150 dager ved 1200 l/s uttak. Dette er sannsynligvis for høye tall i begge situasjoner, som skyldes at modellen ikke er godt nok innstilt for kjøring i perioder med lavt tilsig. Modellen straffes ikke for å pendle ned ofte.

I følge opplysninger gitt under befaringen ved Vestfossen kraftstasjon var det ca. 30 stopp i kraftproduksjonen i løpet av et år med påslipp av minstevannføring på 1.3 m³/s. Tar vi utgangspunkt i den prosentvise økningen funnet ved simuleringmodellen og multipliserer med den reelle stoppfrekvensen på 30 stopp per år, økes nedpendlingsfrekvensen til 56 ganger per år når det tas ut 1200 l/s hele året. Varigheten av hver stopp var 1 – 3 timer.



Figur 3.4 Simulert og observert vannstand i Fiskumvannet "hard kjøring" av kraftverket.



Figur 3.5 Varighetskurve for vannføringen i Vestfosselva, hard kjøring av kraftverket og med 1200 l/s drikkevannsutttak fra VIV.

4 Endret vannføring ved Vestfossen - hydraulisk respons nedover i Vesfosselva

4.1 Observasjoner under befaringen

Under befaringen 14.oktober 1999 var vannføringen gjennom kraftstasjonen $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Vannføringen ble så redusert til $6 \text{ m}^3/\text{s}$ i 15 minutter og videre ned til minstevannføringen på $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ som ble opprettholdt i to timer og et kvarter. Minstevannføringen ble kun sluppet over fossen. Det ble målt hvor raskt vannstanden reagerte nedover i elven like under Vestfossen, ved Sem 2.5 km nedstrøms og ved brua ved Haug 3.7 km nedstrøms, Tabell 4.1 og Figur 2.2.

I elva like nedenfor kraftstasjonen sank vannstanden i løpet av det første kvarteret med 40 cm. Ved nedkjøring til minstevannføringen sank vannstanden ytterligere 20 cm i løpet av det neste kvarteret for til slutt å stabilisere seg 15 cm lavere i løpet av den følgende timen. Totalt hadde vannstanden sunket 75 cm fra vannføringer på $20 \text{ m}^3/\text{s}$ til $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ i løpet av 1.5 time. Ved målestasjonene 2.5 km og 3.5 km nedenfor reagerte elven langsommere. I løpet av 3 timer sank vannstanden jevnlig med henholdsvis 50 og 44 cm.

Ved $20 \text{ m}^3/\text{s}$ var elveløpet breddfullt. Det var følgelig mye vann som skulle renne ut av elveløpet før vannstanden ble redusert til et nivå som tilsvarer $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ som ble sluppet over fossen. Tiden med redusert vannføring på 2.5 timer var for liten til at effekten av vannføringsendringen ved Vestfossen i særlig grad påvirket vannstanden i de nedre delene av elveløpet.

Tabell 4.1 Vannstand i Vestfosselva ved redusert vannføring fra $20 \text{ m}^3/\text{s}$ til $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ved Vestfossen . Observasjoner ved befaringen 14.10.99

<i>tid</i>	<i>Vannføring (m^3/s) nedenfor Vestfossen</i>	<i>Vannstand (cm) nedenfor Vestfossen 0 km</i>	<i>Vannstand (cm) Haug 2.5 km</i>	<i>Vannstand (cm) Sem - ved bru 3.7 km</i>
1300	20	0	0	0
1300	6			
1315	6	-40	0	0
1315	1.5		0	0
1325	1.5	-60		-5
1345	1.5		-14	-14
1400	1.5		-20	-21
1415	1.5		-27	
1425	1.5	-75		-30
1500	1.5	-75		
1530	20			
1615	20		-44	
1625	20		-37	

4.2 Simuleringer

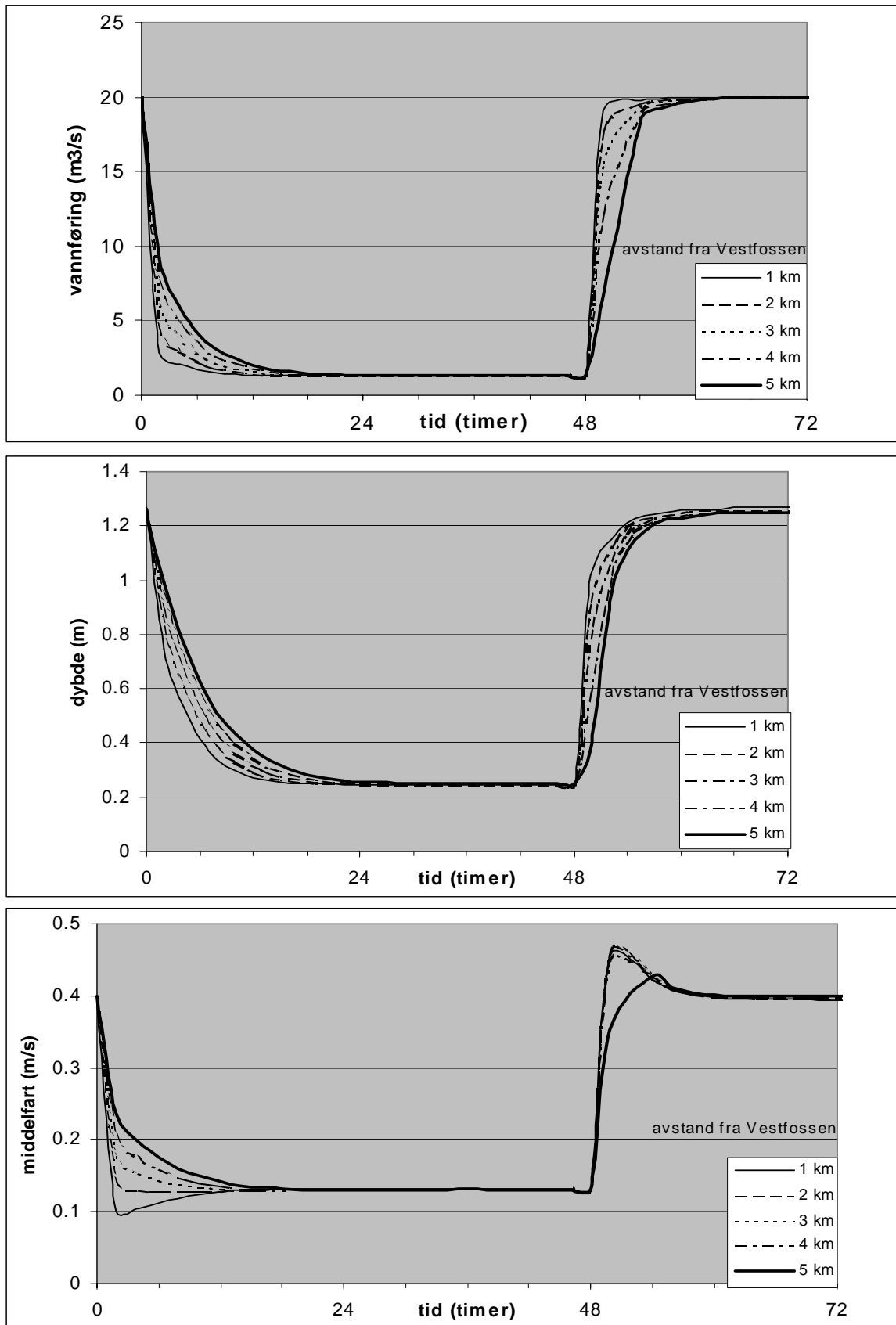
Vi ønsket å vite hvordan vannstanden i elveløpet ville ha reagert om minstevannføringspåsippet hadde vedvart. Av hensyn til erosjon var det enda mer interessant å vite hvor raskt vannstanden ville stige ved økt påslipp fra minstevannføringen til $20 \text{ m}^3/\text{s}$. Den mest hyppig forekommende situasjonen vil være en vannføringsregulering mellom $6 \text{ m}^3/\text{s}$ og $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ forekommende i perioder med lite tilsig. For å finne svar på disse spørsmålene ble det utført simuleringer ved den matematisk modellen, Dynhyd (Ambrose and Martin 1993).

Simuleringen startet med at vannstanden langs hele elveløpet tilsvarte en vannføring på $20 \text{ m}^3/\text{s}$ gjennom kraftstasjonen, d.v.s. som på observasjonsdagen. Vannføringen ble så redusert til $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ og opprettholdt i to døgn for så å øke til $20 \text{ m}^3/\text{s}$ igjen. Ifølge simuleringene sank vannstanden ca. 1 m fra 1.3 m til 0.25 m, Figur 4.1. Hele elvestrekningen kom i likevekt med påslippet etter ca. et døgn. En kilometer nedstrøms fossen sank vannstanden til det halve i løpet av tre timer, d.v.s. ca. 20 cm pr. time. Fem kilometer nedenfor fossen tok dette dobbelt så lang tid. Økt vannføring til $20 \text{ m}^3/\text{s}$ ga langt raskere respons enn ved redusert vannføring. Hele elvestrekningen kom i likevekt med påslippet etter omlag ett halvt døgn. Halvparten av økningen, 60 cm, skjedde i løpet av et 2-3 timer, d.v.s. en vannstandsending på 30-20 cm pr. time. Det tok lenger tid før de nedre delene av elven reagerte, men når "bølgen" først nådde fram skjedde størsteparten av stigningen med omtrent samme fart. Vannet får de største hastighetene og størst evne til erosjon når bølgetoppen passerer. En mer gradvis opptrapping av vannføringen vil redusere erosjonspotensialet. Imidlertid var midlere strømhastighet i elveløpet under 50 cm/s , hvilket betyr at elven kan betegnes langsomtflytende og med liten evne til å erodere.

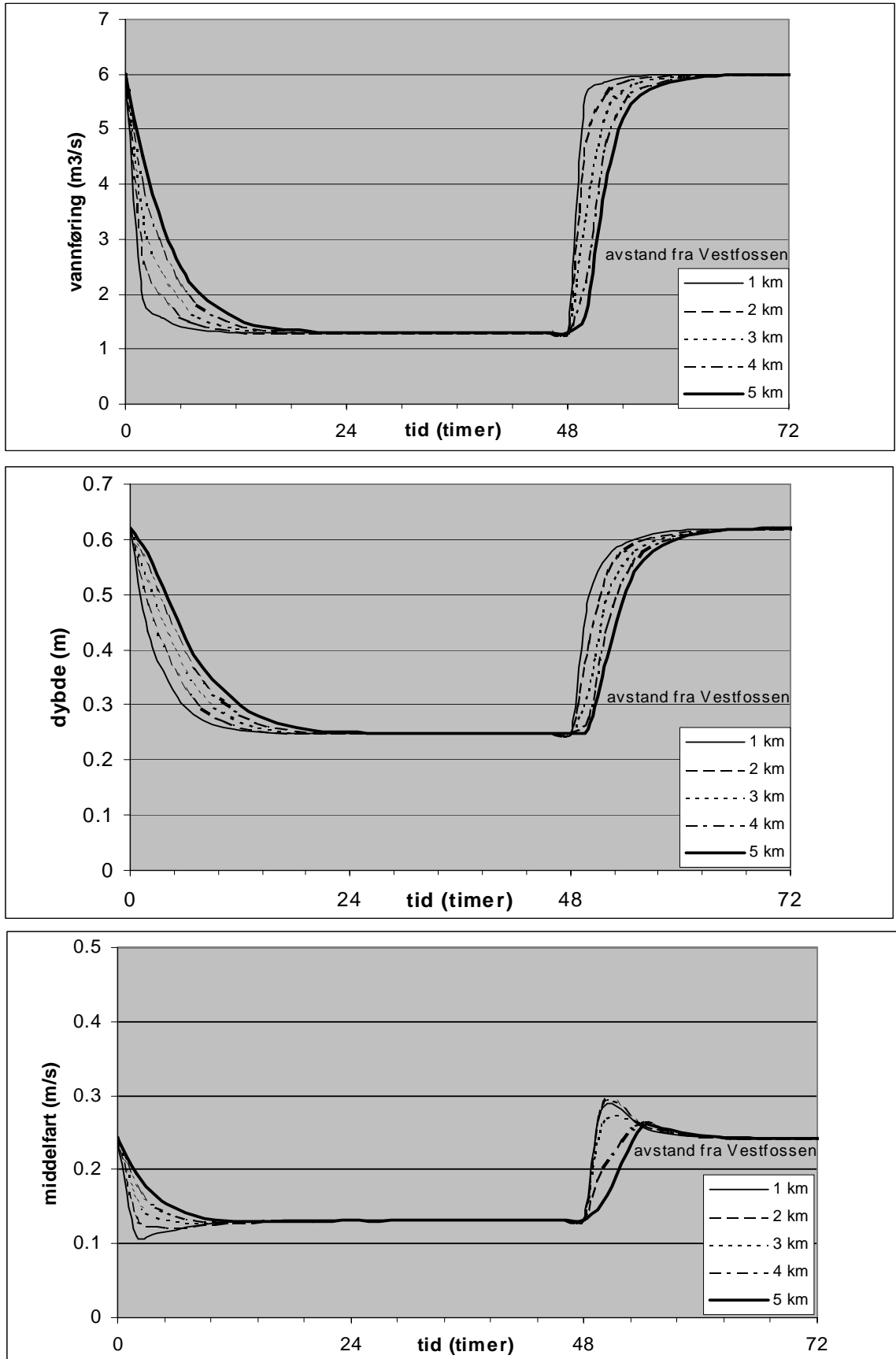
Reduksjon fra $6 \text{ m}^3/\text{s}$ til $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ førte til en største synkehastighet på ca. 10 cm/time og 3 cm/time etter henholdsvis 1 kilometer og 5 kilometer, Figur 4.2. Tilsvarende stigningsfart ved økt vannføring til $6 \text{ m}^3/\text{s}$ var 15 cm/time og 5 cm/time . Vannets middelfart i elveløpet var under 30 cm/s .

Et mer vanlig forekommende hendelsesforløp er at en vannføring ved kraftstasjonen på $6 \text{ m}^3/\text{s}$ blir avbrutt av en av en minstevannføring på $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ med en varighet på 3 timer. Responsen i elveløpet blir langt mindre enn i de forgående eksemplene, Figur 4.3. Vannstanden rakk ikke å komme i likevekt med påslippet før vannføringen økte igjen, selv ikke etter en kilometer.

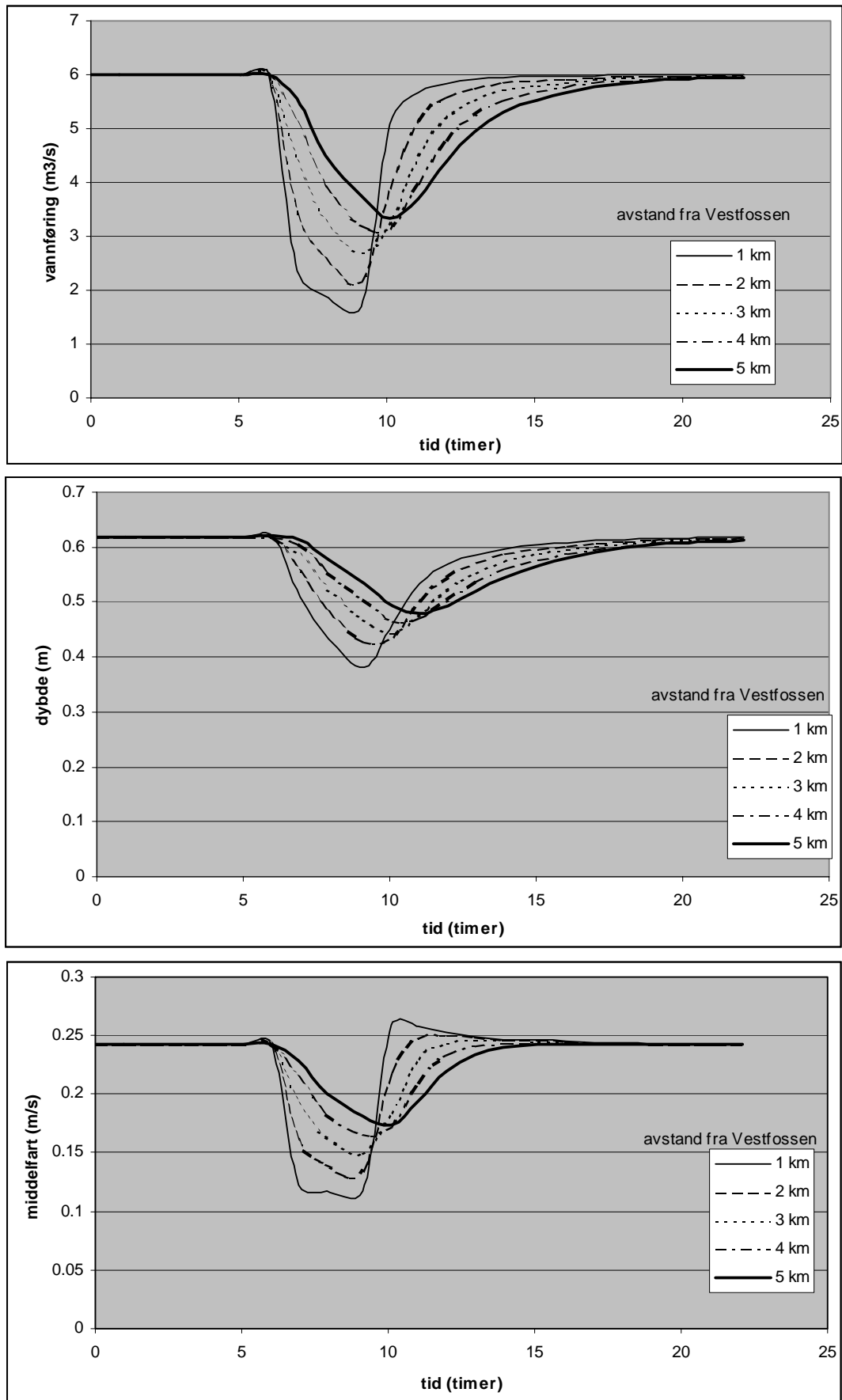
Simuleringene er utført på grunnlag av målinger på kart. En mer nøyaktig målinger i felt av tverrprofiler og gradienter i lengderetning ville gitt mer nyanserte resultater. Imidlertid var det godt samsvar med observasjonene på befaringsdagen. Simuleringene gir et tilstrekkelig nyansert bilde av hvordan raskt endret vannføring ved Vestfossen forplanter seg nedover i elveløpet til at de kan nyttes som grunnlag for en kvalitativ bedømmelse av erosjonsfare.



Figur 4.1 Respons i Vestfosselva ved 20 m³/s avbrutt av langvarig minstevannføring



Figur 4.2 Respons i Vestfosselva ved 6 m³/s avbrutt av langvarig minstevannføring



Figur 4.3 Respons i Vestfosselva ved 6 m³/s avbrutt av minstevannføring i 3 timer

5 Diskusjon – konklusjoner

Erosjon langs strendene av en innsjø skjer generelt ved at bølger eroderer i tørrelagte og vegetasjonsfrie strender og eventuelt forårsaker utglidning av masser. Et vannverksuttak på 1200 l/s vil ifølge simuleringene i liten grad endre vannstanden i Eikeren i forhold til i dag uansett strategi for kjøring av kraftstasjonen. Det mest ugunstigste simulerte scenariet gjaldt en kombinasjon av "hard kjøring" av kraftstasjonen og ikke vannverksuttak. Denne urealistiske kombinasjonen medførte jevnlig noe lavere vannstand, dog sjeldent mer enn ½ m i forskjell. Strendene langs Eikeren/Fiskumvatn som i dag anses som lite erosjonsutsatte vil også forbli dette i fremtiden.

I Vestfosselva består elveleiet av finkornet materiale som er lett både å erodere og transportere. For øvrig er den fra naturens side godt beskyttet mot erosjon. Elven renner i et nesten flatt landskap slik at vannets eroderende kraft er relativt liten. Områdene nær elvebredden er slake og fortrinnsvis grassbevokst. Det er kun helt lokalt observert enkelte sår på grunn av tråkk fra husdyr som drikker vann fra elven. Det er ingen områder med bratte kanter hvor erosjon kan medføre utglidning av større masser.

Under vanlig drift av kraftstasjonen er vannføringen i Vestfosselva ca. 10 m³/s om vinteren og 6 m³/s om sommeren. I følge opplysninger under befaringen ved Vestfossen kraftselskap var det ca. 30 stopp i kraftproduksjonen i løpet av et år med påslipp av minstevannføring på 1.3 m³/s. Varigheten av hver stopp var 1 – 3 timer. I følge simuleringene får en slik kort reduksjonstid kun en moderat effekt.

Økt vannverksvannuttak vil øke varigheten av lave vannføringer i elva. Ved å redusere vannføringen reduseres vannets eroderende kraft, slik at dette ikke skulle ha noen uheldig virkning. Ved stigende vannføring blir forholdet motsatt. Det mest ugunstige scenariet er lang tid med minstevannføring fulgt av en rask økning til høy vannføring, f.eks. til 20 m³/s, med varighet som blir opprettholdt i minst et halvt døgn. Området like nedenfor fossen blir mest utsatt. Imidlertid består elveløpet der av grovt materiale, stein og grus, slik at det ikke skulle være noen fare for uønsket erosjon. Lenger ned vil siltig materiale som ligger på bunnen bli erodert og transportert nedover. Vannet fart, som i middel for tverrsnittet neppe vil overskride 0.5 m/s, er såpass lav at elven generelt kan betegnes som langsomtflytende og lite erosjonsutsatt. Strømmens fart i overflaten og i midten av elveløpet er selvfølgelig større enn vannets middelfart. Da vi ikke kan påvise spesielle utsatte strekninger med større gradient og bratte kanter i yttersving m.m., anser vi det for meget lite sannsynlig at det vil oppstå uheldige effekter som følge av erosjon. En eventuell økning av antall ganger av prosedyren reduksjon og påslipp av vann i løpet av året, vil neppe få påviselige følger.

6 Referanser

Ambrose R.B. and Martin J.L. 1993: The Dynamic Estuary Model Hydrodynamics Program, DYNHYD5 model documentation and user manual, Environmental Research Laboratory, Athens, Georgia

Sælthun, N.R. 1999. Hydrologiske vurderinger i forbindelse med uttak av drikkevann fra Eikeren. NIVA-rapport, Lnr 4071-99, 17 sider.