

Endringer i vannbalansen,
Oslo hovedflyplass Gardermoen
- Betydning for
verneverdiene i Romerike
landskapsvernområde

Lars Erikstad (red.)
Jim Bogen
Geir Lenes
Bengt Rognerud
Frode Sandersen
Kevin J. Tuttle
Lillian Øygarden

oppdragsmelding



NINA

NORSK INSTITUTT FOR NATURFORSKNING

Endringer i vannbalansen,
Oslo hovedflyplass Gardermoen
- Betydning for
verneverdiene i Romerike
landskapsvernområde

Lars Erikstad (red.)

Jim Bogen

Geir Lenes

Bengt Rognerud

Frode Sandersen

Kevin J. Tuttle

Lillian Øygarden

NINAs publikasjoner

NINA utgir fem ulike faste publikasjoner:

NINA Forskningsrapport

Her publiseres resultater av NINAs eget forskningsarbeid, i den hensikt å spre forskningsresultater fra institusjonen til et større publikum. Forskningsrapporter utgis som et alternativ til internasjonal publisering, der tidsaspekt, materialets art, målgruppe m.m. gjør dette nødvendig.

NINA Utredning

Serien omfatter problemoversikter, kartlegging av kunnskapsnivået innen et emne, litteraturstudier, sammenstilling av andres materiale og annet som ikke primært er et resultat av NINAs egen forskningsaktivitet.

NINA Oppdragsmelding

Dette er det minimum av rapportering som NINA gir til oppdragsgiver etter fullført forsknings- eller utredningsprosjekt. Opplaget er begrenset.

NINA Temahefter

Disse behandler spesielle tema og utarbeides etter behov for å informere om viktige problemstillinger i samfunnet. Målgruppen er "almenheten" eller særskilte grupper, f.eks. landbruket, fylkesmennenes miljøvern- og turist- og friluftlivskretser o.l. De gis derfor en mer populærfaglig form og med mer bruk av illustrasjoner enn ovennevnte publikasjoner.

NINA Fakta-ark

Hensikten med disse er å gjøre de viktigste resultatene av NINAs faglige virksomhet, og som er publisert andre steder, tilgjengelig for et større publikum (presse, ideelle organisasjoner, naturforvaltningen på ulike nivåer, politikere og interesserte enkeltpersoner).

I tillegg publiserer NINA-ansatte sine forskningsresultater i internasjonale vitenskapelige journaler, gjennom populærfaglige tidsskrifter og aviser.

Erikstad, L. (red.), Bogen, J., Lenes, G., Rognerud, B., Sandersen, F., Tuttle, K. J. & Øygarden, L. Endringer i vannbalansen, Oslo hovedflyplass Gardermoen. - Betydning for verneverdiene i Romerike landskapsvernområde. - NINA Oppdragsmelding 308: 1-31.

Oslo, september 1994

ISSN 0802-4103

ISBN 82-426-0515-7

Forvaltningsområde:

Norsk: Naturinngrep

Engelsk: Major land use change

Copyright ©:

Stiftelsen Norsk institutt for naturforskning

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

Redaksjon:

Lars Erikstad

NINA, Oslo

Design og layout:

Klaus Brinkmann

Cathrine Haneng Svendsen

NINA, Ås/Oslo

Sats: NINA

Kopi: Kopisentralen A/S

Opplag: 100

Kopiert på miljøpapir!

Kontaktadresse:

NINA

Boks 1037, Blindern

N-0315 Oslo

Tel.: 22 85 46 84

Tilgjengelighet: Åpen

Prosjekt nr.: 558904

Ansvarlig signatur:

Gunnar Halvorsen

Oppdragsgiver:

Oslo Hovedflyplass AS (OHAS)

Referat

Erikstad, L. (red.), Bogen, J., Lenes, G., Rognerud, B., Sandersen, F., Tuttle, K. J. & Øygarden, L. Endringer i vannbalansen, Oslo hovedflyplass Gardermoen. - Betydning for verneverdiene i Romerike landskapsvernområde. - NINA Oppdragsmelding 308: 1-31.

Manipuleringer av grunnvannet i forbindelse med byggingen og driften av Oslo hovedflyplass - Gardermoen, vil etter modellsimuleringer bare føre til små endringer i grunnvannstrømmen ut til ravinene i Romerike Landskapsvernområde. Naturlig års- og årstidsvariasjoner vil bli opprettholdt. Det er allikevel mulig at endringene vil kunne påvirke erosjonsintensiteten i ravinene. Bl.a. er det teoretisk mulig at grunnvannstrømmen kan følge bestemte lag ut mot raviner og at vannstrømmen dermed kan endres lokalt med derpå følgende endringer i erosjonsintensiteten. Faren for at dette kan skje minsker når avstanden fra ravinekanten til nærmeste infiltrasjonspunkt øker.

Ukjente faktorer knyttet til grunnvannstrømmen, den detaljerte sedimentologien og selve prosessen grunnvannserosjon gjør det nødvendig å følge situasjonen nøye slik at eventuelle endringer kan dokumenteres og problemer avbøtes. Visse områder langs ravinekanten er svært følsomme. Det er iaktatt at grunnvannsraviner som åpnes har rykket tilbake 15 meter pr. år. Erosjonsin-

tensiteten ser idag ut til å være størst i Sognas sideraviner ut for dagens flystripe.

I tillegg til endringer i grunnvannsmagasinet planlegges å slippe overvann direkte ut i Sogna. Direkte utslipp kan ved store mengder føre til betydelige endringer i Sogna med derpå følgende erosjonsproblemer både i Sognas sideraviner og i Vikka. Et eventuelt utslipp i Sogna må være tilpasset Sognas løpsstabilitet. Løpsstabiliteten må undersøkes nærmere for å fastlegge toleransen ovenfor økt varighet av høy vannføring.

Erosjonen på dyrket mark vil ikke bli berørt av grunnvannsendringene med mindre økt ravineerosjon fører til utrasing og ravinedannelse inn på dyrket mark. Det er allikevel viktig å følge med i erosjonsintensiteten på disse arealene siden de kan ha stor betydning for feltet i sin helhet.

Emneord: Ravineerosjon - Grunnvannsendringer - Overflateavrenning - Konsekvensanalyse - Gardermoen

Jim Bogen, NVE, Middeltunsgate 29, 0368 Oslo,
Lars Erikstad, NINA, Boks 1037 Blindern, 0315 Oslo,
Geir Lenes, Berdal Strømme, Vestfjordgaten 4, 1300 Sandvika,
Bengt Rognerud, Geofuturum a.s, Boks 1354, 1401 Ski,
Frode Sandersen, NGI, Sognsveien 72, 0855 Oslo,
Kevin J. Tuttle, Institutt for geologi, Boks 1047 Blindern, 0316 Oslo,
Lillian Øygarden, Jordforsk, 1432 Ås.

Forord

I forbindelse med utarbeidelsen av utslippssøknad av forurenset vann for den nye hovedflyplassen på Gardermoen har Oslo Hovedflyplass AS ønsket å dokumentere sin søknad i forhold til pålagte og egne miljøkrav. Det ble nedsatt en gruppe som særlig skulle dokumentere erosjonsproblemer knyttet til eventuelle endringer i grunnvannsstrømmen ut i ravinene samt effekten av eventuelt utslipp av overflatevann i Sogna, og å se dette i lys av verneverdiene i Romerike landskapsvernområde.

Gruppen har gått gjennom årsakene til erosjonen, hva som bidrar mest til erosjon under ulike forhold og hva som er viktig å kontrollere og overvåke i forbindelse med vannhåndteringen. Dessuten om det er mulig å kvantifisere begrensinger og rammer som er viktige for de tekniske løsninger som velges. Gruppens medlemmer har vært forfatterne av denne rapporten. Kontaktperson i Oslo Hovedflyplass a.s har vært Astri Svenkerud, som også har deltatt i gruppens møter.

Prosjektet er koordinert av Lars Erikstad som også har konsentrert seg om virkningene sett i lys av verneverdiene i Romerike landskapsvernområde. Kevin Tuttle har behandlet Gardermoslettas sedimentologi og dennes betydning for grunnvannsstrømmen; Geir Lenes, grunnvannet og simuleringsmodeller som kan si noe om før- og ettersituasjonen; Jim Bogen og Frode Sandersen, erosjonsprosessene i ravinene; mens Bengt Rognerud og Lillian Øygarden særlig har sett på erosjonen på dyrket mark.

Oslo, 28. september 1994

Lars Erikstad

Innhold

	Side
Referat	3
Forord	4
1 Innledning	6
2 Romerike Landskapsvernområde	8
3 Faglig beskrivelse	9
3.1 Gardermoen's geologiske avsetningsstruktur.....	9
3.1.1 Deltakomplekset.....	9
3.1.2 Sedimentologiske avsetningsprosesser.....	9
3.1.3 Avsetningsstruktur ved deltaskråningen.....	10
3.2 Grunnvannet.....	10
3.2.1 Metodikk og simuleringsverktøy.....	11
3.2.2 Modellens rammebetingelser.....	11
3.3 Ravineerosjon.....	12
3.3.1 Avrenning i dreneringssystemet.....	12
3.3.2 Massebevegelse i sideskråninger.....	13
3.3.3 Overflateavrenning.....	14
3.3.4 Underjordisk kanalisert drenering.....	14
3.3.5 Grunnvannserosjon.....	15
3.4 Erosjon på jordbruksareal.....	16
3.4.1 Inndeling av erosjonsformer.....	16
3.4.2 Naturlig erosjonsrisiko.....	16
3.4.3 Fureerosjon fra konsentrerte vannstrømmer.....	17
3.4.4 Erosjon på planeringsfelt.....	17
3.4.5 Erosjonsmålinger på jordbruksareal.....	18
3.4.6 Jordarbeiding.....	19
4 Vurderinger	20
4.1 Simuleringer.....	20
4.2 Konsekvenser av endret grunnvannsstrømning.....	24
4.3 Utslipp av vann direkte ut i Sognas nedbørfelt.....	24
4.4 Endringer i grunnvannsnivå - virkning på erosjon fra jordbruket.....	24
4.5 Forholdet til landskapsvernet.....	28
5 Konklusjoner / anbefalinger	30
5.1 Erosjon.....	30
5.2 Virkninger av endringer i grunnvannsnivå.....	30
5.3 Overflatevann ut i Sogna.....	30
5.4 Generell usikkerhet, behov for oppfølging.....	30
6 Referanser	31

1 Innledning

Oslo Hovedflyplass AS har i sitt miljøoppfølgingsprogram satt følgende miljømål i forhold til naturverdiene ved flyplassen: *"Flyplassen skal av hensyn til naturmiljøet i minst mulig grad berøre eller på annen måte påvirke verneverdige naturområder og leveområder for vilt. Drenering og infiltrasjon på flyplassområdet skal ikke medføre uønskede endringer i grunnvannet i de internasjonalt verneverdige områdene eller påvirke utsiving av grunnvann i ravinene sørvest for flyplassen."*

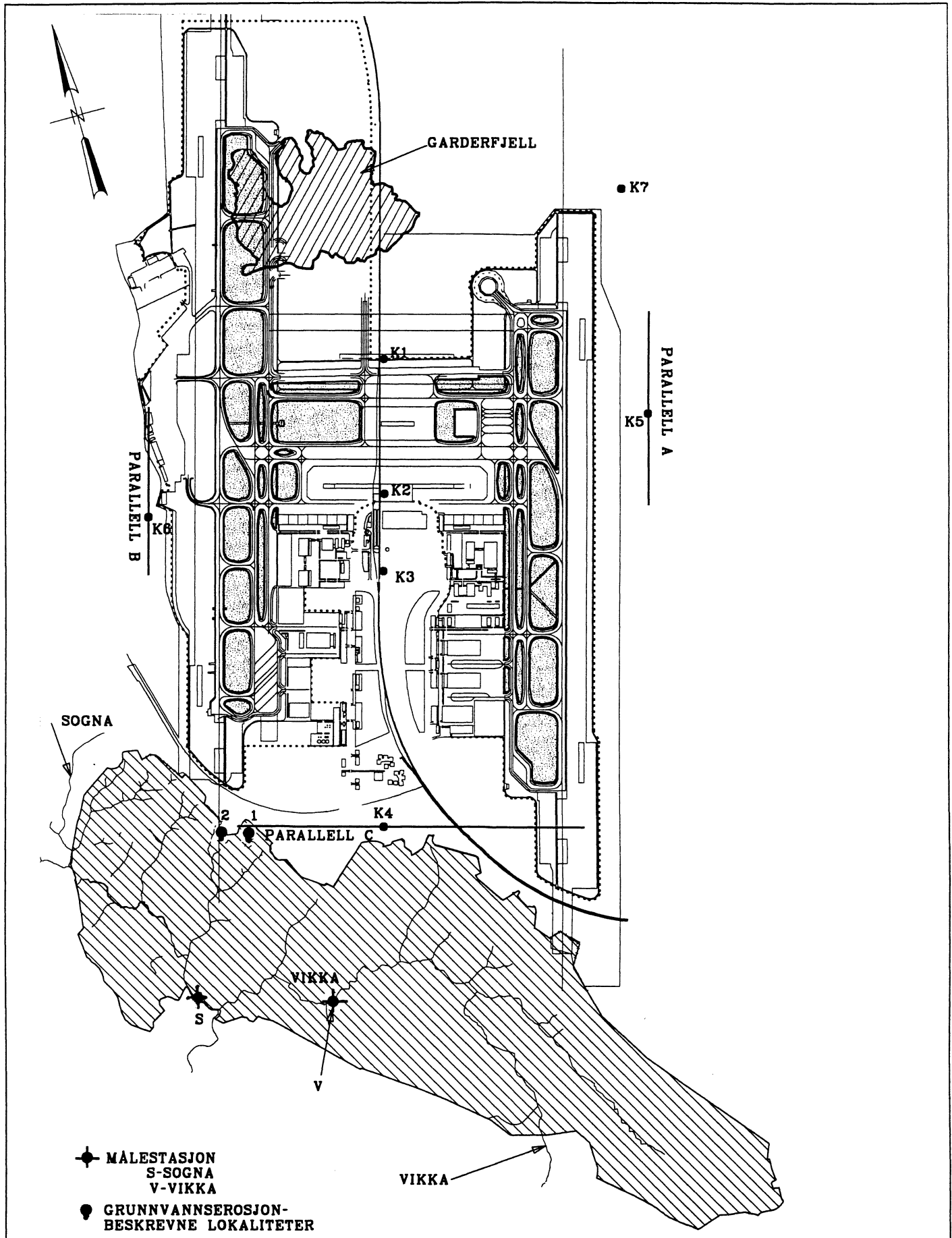
Målsettingene er relativt generelle, og det er behov for en nærmere konkretisering av rammebetingelsene i forhold til verneverdiene i Romerike landskapsvernområde.

Det er her gjort en vurdering av hvilke effekter en eventuell endring i grunnvannstrømmningene / grunnvannsnivå kan ha på verneverdiene i Romerike landskapsvernområde. Det er likeledes

gjort vurderinger av effektene av eventuelle direkte utslipp av overvann til Sogna. Vurderingene er gjort for å få en bedre forståelse og konkretisering av hvilke endringer verneverdiene er spesielt sårbare mot.

Arbeidet har i tillegg til hver enkelts arbeid, omfattet møter og diskusjoner, delvis i felt. Her har alle gruppens medlemmer bidratt i en flerfaglig diskusjon og prøving av de omtalte problemstillinger. Det har ikke vært mulighet for grundig feltarbeid. Tidsfristene for gruppens arbeid har vært meget knappe. Gruppens arbeid må derfor forstås som et beste skjønn basert på eksisterende viten samt de data om simulerte manipuleringer av grunnvannsmagasin og overflatevann som har vært tilgjengelige for oss i slutten av august og i løpet av september 1994.

I **figur 1** vises en oversikt over Romerike landskapsvernområde Vikka med flyplassen på deltaflaten og flukskontrollsnitt som blir beskrevet senere i rapporten.



Figur 1
Landskapsvernområde og Oslo hovedflyplass - Gardermoen. Oversiktsplan.

2 Romerike Landskapsvern- område

Romerike landskapsvernområde ble vernet ved kgl. res. av 1.11. 1985. Landskapsvernområdet er ca. 5 km² stort (**figur 1**) og utgjør en del av et større område (ca. 17 km²) som i 1973 ble foreslått vernet mot bakkeplanering. Dette store området inneholder de fleste typiske elementer av leirlandskapet på Romerike både geologisk (raviner, grunnvannsraviner, leirskredsgroper m.v.) såvel som vegetasjonsmessig (beiteraviner, gjenvokste raviner m.v.). Behandlingen av dette verneforslaget tok imidlertid sin tid, samtidig som bakkeplaneringen i jordbruket skjøt fart. Resultatet var at store deler av det opprinnelig foreslåtte området ble sterkt preget av bakkeplanering og dermed uaktuelle for vern. Dette var en utvikling som var typisk for denne terrengtypen i store deler av landet og som førte til at større områder med relativt urørte ravinesystemer er svært vanskelig å finne (Erikstad, 1992). Verneverdien i slike gjenværende systemer er dermed økt, særlig når disse omfatter større nedbørfelt slik tilfellet er i Romerike Landskapsvernområde.

Begrepet "relativt urørte systemer" er flytende og i dette tilfellet ble også bakkeplaneringer utført i det området som nå er vernet. En av disse utløste i 1979 et midlertidig vern i deler av Vikkas nedbørfelt. Dette midlertidige vernet satte også fortgang i vernearbeidet som ble avsluttet ca. 6 år senere. Hovedkonflikten i forbindelse med opprettelsen av verneområdet var i forhold til jordbruksinteressene og ønsket om ytterligere bakkeplaneringer.

I diskusjonen om opprettelsen av verneområdet var det ulike momenter som spilte stor rolle i beskrivelsen av verneverdiene:

1) Vern av det tradisjonelle romeriksklandskapet, med raviner og ulik arealbruk og vegetasjon.

2) Vern av et helhetlig nedbørfelt som referanse for landskapsutviklingen i slike områder.

I tillegg var det også viktig at Romerike landskapsvernområde utgjør de distale deler av Gardermoens kompleks av marine randdel-taer som i seg selv også har svært stor verneverdi (Erikstad & Halvorsen, 1992).

Det formelle formål med vernet ble definert å være "å bevare en del av Romerikes ravinelandskap med dets karakteristiske vegetasjonsbilde, samt å sikre Vikka med tilhørende nedslagsfelt som vitenskapelig referanseområde". Hovedparagrafen i vernebestemmelsene slår fast at "alle inngrep som vesentlig kan endre landskaps art eller karakter, herunder vegetasjonsbildet, er forbudt, som f.eks. uttak eller utfylling av masse, herunder masseforflytning i form av bakkeplaneringer, anlegg av veger, treslagskifte, flatehogst og skogsprøyting, framføring av luftledninger, jordkabler eller kloakkledninger, henleggelse av avfall samt oppføring av bygninger, anlegg eller andre innretninger"

I hvor stor grad dette formelt vil binde lovligheten av grunnvannsmanipuleringer inne på selve sletta, er uklart. Tar vi imidlertid utgangspunkt i selve målsettingen med landskapsvernområdet sammen med miljømålene til Oslo Hovedflyplass AS, er det klart at det vesentlige her er at den vitenskapelige referanseverdien knyttet til Vikkas nedbørfelt samt det generelle landskapsbildet i verneområdet ikke bør endres vesentlig.

Når det gjelder forholdet til vegetasjonsbildet i landskapsvernområdet har gruppen ikke spesiell kompetanse. Etter konsultasjoner med botanikere i NINA er det imidlertid vår oppfatning at de konsekvenser som vil komme på vegetasjonen vil domineres av økt eller minket erosjonsintensitet som er behandlet i detalj i denne rapporten.

3 Faglig beskrivelse

3.1 Gardermoenes geologiske avsetningsstruktur

3.1.1 Deltakomplekset

Flyplassen på Gardermoen ligger på store deltaavsetninger som består av flere mindre delta, avsatt i kontakt med hverandre. Sammen danner disse et deltakompleks med en forholdsvis tykk breelvslette (sandur). Deltakomplekset ble avsatt i Preboreal tid, omkring 9 500 år før nå (Sørensen, 1979, 1982), under tilbaketrekning av den Skandinaviske innlandsisen (Holtedahl, 1924; Sørensen, 1982). Avsetningen av deltaet skjedde i kontakt med breen, som sto i en grunn marin fjord (ca. 100 meter dyp) (Holtedahl, 1924; Holmsen 1954, Tuttle, 1990). Fjordvannet var forholdsvis brakt på grunn av den store vannføringen fra innlandsisen. Avsetningsperioden for hele deltakomplekset (ca. 4.4 km³) er vurdert til å ha vært mellom 50 og 100 år, basert på strandforskyvningskurver og ¹⁴C-dateringer (Hafsten, 1956; Sørensen, 1982). Den ytre geometrien av deltakomplekset var betinget av berggrunnstopografi, løsmassenes kornfordeling, forholdet mellom smeltevannets og bassengvannets tettheter og smeltevannets sedimentkonsentrasjon (Tuttle og Aagaard, 1994a). Deltaets tredelte struktur, dvs. delta-topplag, delta-skrålag og deltabunntlag, viser typiske Gilbert-type enheter. Dette innebærer først og fremst at deltafronten har en jevn og rund geometri og at deltaskrålagsheten er forholdsvis bratt pga. løsmassenes

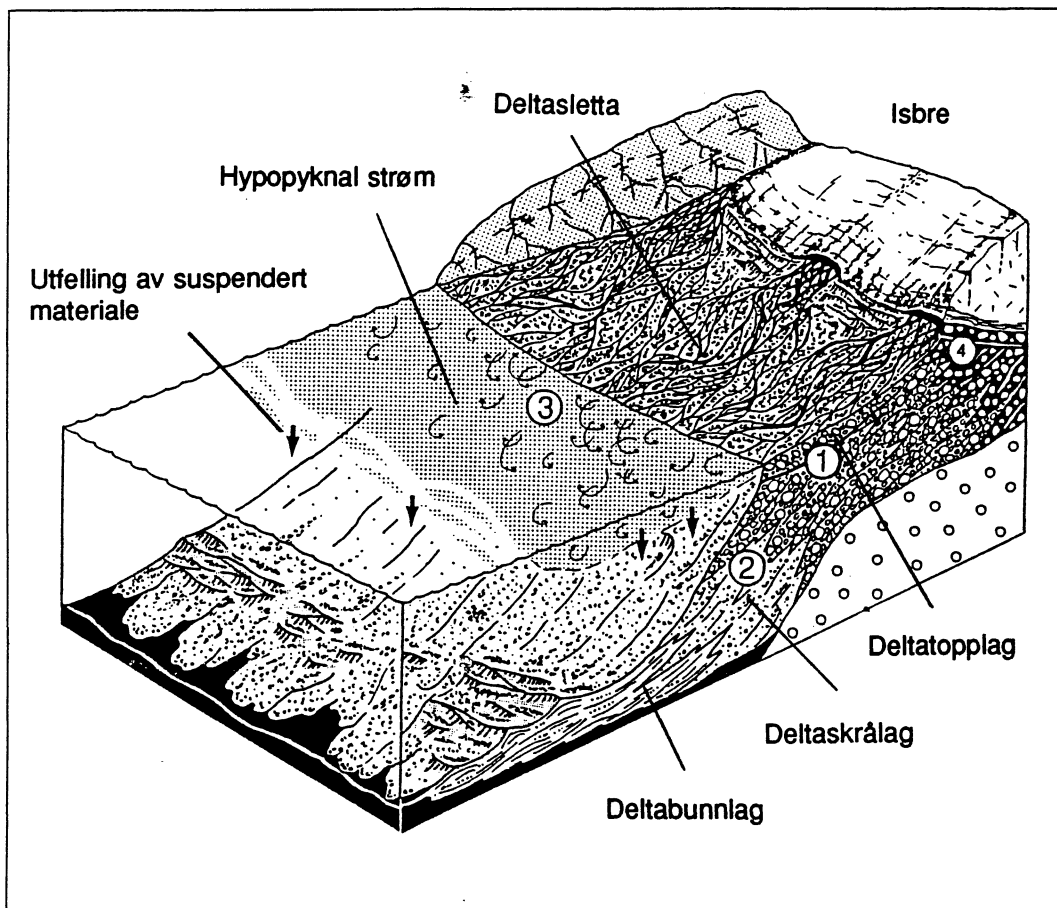
kornfordeling, de sedimentologiske prosessene og bassengdybde (Nemec, 1990).

Topplagsenheten er forholdsvis tykk p.g.a. hurtig avsetning av løsmasser ved brefronten, skrålagsheten er steil med maksimum vinkel på ca. 30°, og bunntlagsheten er forholdsvis tykk, økende med økende avstand fra sedimentkilden (Tuttle og Aagaard, 1994b; Tuttle et al., 1994).

3.1.2 Sedimentologiske avsetningsprosesser

Under avsetningen av deltaet, var det en breelvslette (sandur) som utviklet deltaets topplag. På sletta, strømmet det et nettverk av forgrenete breelver som stadig skiftet retning. Når elvene nådde deltafronten og fjordbassenget, skjedde det en fraksjonering av de forskjellige kornfraksjonene som elvene førte med seg. De finere partiklene (finsand, silt og leire) som var fraktet i suspensjon i elva møttet fjordbassenget med en lavere tetthet enn det brakke vannet i fjorden. Dette førte til at disse fraksjonene stort sett ble transportert videre ut i bassenget fra deltaskråningen. De ble felt ut av vannstrømmen idet strømningshastigheten minket. Dette forklarer den lave andelen av disse kornstørrelsene på den øvre delen av skrålagsheten (**figur 2**).

De grovere partiklene (middels- og grovsand, grus og stein) som ble fraktet i bunntransport i elva, ble dumpet ved elvemunningen der elven mistet en del av hastigheten og dermed sin transportkraft. De grove massene dannet munningsbanker i elvemunningen eller ble



Figur 2
Deltaenheten og avsetningsmiljø modifisert etter Lønne (in press.).

avsatt på deltaskråningen. Materialet fra disse bankene falt eller rullet videre et kort stykke ned skråningen. Der hvor elvene munnet ut i bassenget, var det en delvis kontinuerlig aktivitet av små ras pga at rasvinkelen for de grove massene ved deltafronten ble overskredet. Disse små rasene satt i gang strømmere (turbiditter) bestående av grusig sand som rant nedover deltaskråningen og tildels ut på fjordbunnen (**figur 3**) (Tuttle og Aagaard, 1994b; Tuttle et al., 1994).

Resultatet av disse avsetningsprosessene er silt- og leirfattige topplag og skrålag, samt enkelte forholdsvis grove sedimentlag i skrålags- og bunnlagsenheten.

3.1.3 Avsetningsstrukturen ved deltaskråningen

Basert på georadar og refraksjonsseismiske profiler, samt geotekniske borer, er det etablert en viss oversikt over de ulike deltaenhetene. Topplagsenheten i det sørvestlige området er ca. 1-2 m tykk med enkelte unntak der det har vært sterk erosjon ned til ca. 8 m under overflaten. Skrålaget er omlag 15-25 m tykt (201 m.o.h. til ca. 180 m.o.h.), mens bunnlaget er ca. 70-80 m tykt (ca. 180 m.o.h. til 100 m.o.h.). Bunnlaget ble under avsetningen dekket av marin leire som ble felt ut av suspensjon fra det blandede smeltevannet og fjordvannet. Etter at innlandsisen trakk seg lenger nordover etter å ha avsatt Hauersettertrinet, ble også deltaskråningen dekket av marin leire som ble tilført fra Dal- og Minnesundtrinet. Det er denne marine leiren som mesteparten av Romerikes raviner har gravd seg inn i (Holtedahl, 1924; Østmo, 1976; Longva, 1987).

Sedimentologiske undersøkelser som ble gjort innenfor det mellomliggende området på deltaet har vist at sandlagene er ca. 10-15 cm tykke og består av 0,2-10 cm tykke skikt. Lagene inneholder mellom-til grovsand og ofte tilfeldig plasserte gruskorn og stein. Flere av lagene kiler ut både nedover og oppover skråningen. Innenfor det grustaket der undersøkelsen ble utført, er det antydning til en mulig gjentagelse av grovere og finere enheter i deltaskrålagsenheten. 8 m

tykke enheter av 10-15 cm tykk lag veksler fra å inneholde grovsand og forholdsvis mange gruskorn og stein til å inneholde mellom-til grovsand med få gruskorn og stein (Tuttle og Aagaard, 1994).

De samme avsetningsstrukturene antas å eksistere også ved deltafronten, men med fin- til mellom- til grovsand isteden for mellom- til grovsand.

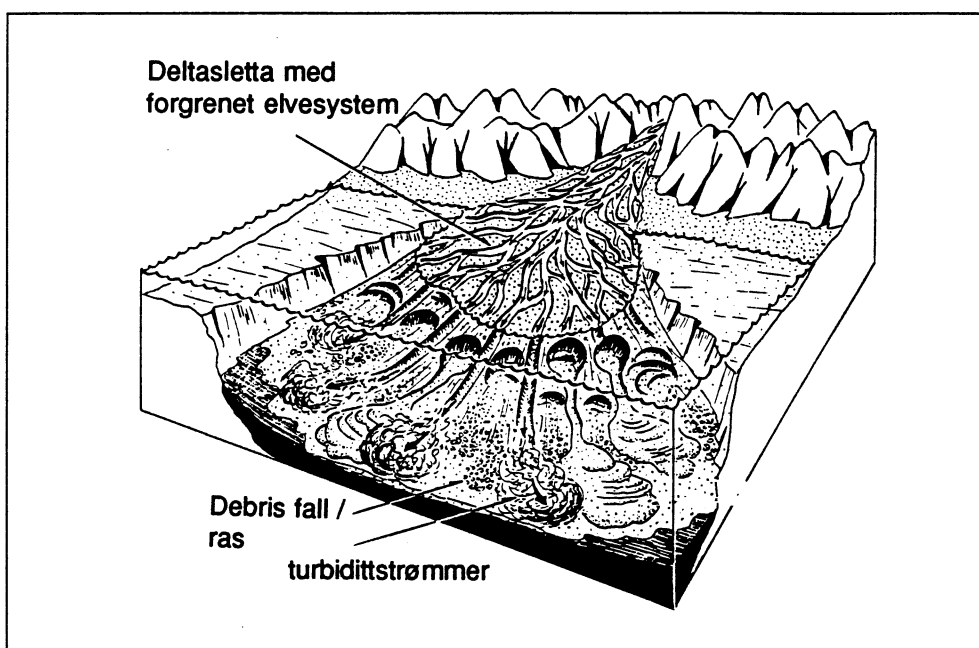
Helningsretningen på lagene i skrålagsenheten har vist seg til å variere mye innenfor en sektor på ca. 180° (fra NNW-SSØ). Trenden er, imidlertid at lagene heller i samme retning som hovedretningen til deltaets utbygning, dvs. mot sørvest i den sørvestlige delen av deltaet. Georadar-undersøkelser har vist at den store svingningen i helningsretningen ser ut til å skyldes strukturer i avsetningen som er tolket som små odder (mini-lobes) utenfor de største elvemunningene (Tuttle et al., 1994). Disse mini-lobene må ikke forveksles med fugle-fot strukturen ved et finkornig, elvedominert delta. Fugle-fot strukturen har en helt annen skala (flere 100 m) enn mini-lobene (ca. 150 m), og dannes under andre geologiske forhold.

Den øvre bunnlagsenheten, ut mot ravinelandskapet, inneholder flere siltige sandlag (Bogen og Sandersen, 1991; Bogen et al., 1993; Jensen, 1994; Sønsterudbråten, in prep.; Tuttle et al., 1994). Disse lagene er turbiditter eller andre typer tetthetsstrømmer fra deltaskråningen, der hvert sandlag har blitt avsatt innenfor et begrenset område og som kiler ut i de finere avsetningene. De aller fleste turbidittlag vil ha forbindelse med skrålagsenheten (Tuttle et al., 1994).

3.2 Grunnvannet

Grunnvannsnivået i deltakomplekset ligger stort sett i den øvre delen av skrålagsenheten. Mot deltafronten øker den hydrauliske gradienten (Østmo, 1976) og grunnvannsnivået synker i skrålagsenheten pga tappingen av grunnvannsforkomsten gjennom ravineene. Innenfor denne lavere delen av skrålagsenheten er den hydrauliske ledningsevnen ca. 10^{-5} m/s (Jørgensen og Østmo, 1990; Jensen, 1994;

Figur 3
Tetthetsstrømmer av type turbiditter og "debris fall" (ras) modifisert etter Nemec (1980).



Sønsterudbråten, in prep; Tuttle et al., 1994). Dette generelle hydrauliske ledningsevnenivået fortsetter nedover med dyptet til noen meter under overgangsonen mellom deltaets skrålags- og bunnlag-senhet. Ved omlag 25-30 m under terrenget i den distale delen av deltaet minker ledningsevnen til 10^{-6} m/s og lavere. Et unntak er de enkelte grovere sandlag som har forbindelse med skrålagnene og er et resultat av tetthetstrømmene fra deltaskråningen. Innenfor disse sandlagene vil den hydrauliske ledningsevnen være høyere enn i de omkringliggende siltige bunnlag. De enkelte sandlagene vil kunne ha mye å si for grunnvannsdreneringen ut mot ravinene.

Innenfor den nedre delen av skrålagsenheten og den øvre delen av bunnlag-senheten, vil løsmassenes hydrauliske ledningsevne kunne ha en større innvirkning på grunnvannstrømningen. De enkelte grovere tetthetstrømlagene vil kunne ha ledningsevne slik at grunnvannstrømningen vil foretrekke retninger parallelt med sandlaget isteden for vinkelrett på. Det er det større innslaget av silt i den nedre delen av skrålagsenheten som gjør at den horisontale ledningsevnen blir lavere. I slike tilfeller vil grunnvannet kunne strømme raskere i de grovere sandlagene. Dette er under den forutsetningen at den distale enden av sandlaget ikke kiler ut i finere løsmasser. Ravineerosjon er en prosess som eksponerer bunnlag-senheten og treffer på de enkelte sandlagene, slik at denne type forhold oppstår. Grunnvannet kan dermed strømme ut med en høyere hastighet enn i de omkringliggende siltholdige løsmassene. Man må ikke se på de enkelte grovere sandlagene som en type sluk for grunnvannet, men heller en raskere strømningsvei for noe av grunnvannet, og en mulig forklaring på plassering av de forskjellige nivå av kilder i ravinene.

Undersøkelser av noen kilder i et par raviner i Sognas nedslagsfelt har vist flere typer kilder avhengig av løsmassenes lagdeling og grunnvannsnivå (Jensen, 1994). Med hensyn til vannføring i de enkelte kildene, er disse delt inn i to grupper. Den ene gruppen har forholdsvis konstant vannføring mens den andre gruppen viser svingninger i vannføringen. Den sist nevnte gruppen er de kilder som ligger øverst i ravinene og som ser ut til å være grunnvannsnivåavhengige. Under perioder med forholdsvis lavt grunnvannsnivå, vil enkelte av kildene være tørre.

De nedre kildene ser ut til å representere en "grunnstrømning" eller "base flow" av grunnvann der vanninntaket til disse lagene er såpass langt inn på deltaet at inntaket ligger lavere enn min./maks. sonen for grunnvannsnivå. Vannføringen vil antakelig svinge noe også i de lavereliggende kildene med en endring i grunnvannsnivået, selv om størrelsesorden vil være mye mindre enn ved de ovenforliggende kildene. Endringer i de nederste kildene vil komme pga endret trykkpotensial. Basert på de få data som er tilgjengelig, kan undersøkelsene støtte teorien om at det er slike relativt grovere sand- og siltige sandlag som utgjør hovedstrømningsvei for grunnvannskildene. Dataene antyder også en sammenheng mellom den sedimentologiske strukturen av løsmassene, grunnvannsnivå og plassering av kildeutspring.

3.2.1 Metodikk og simuleringsverktøy

Overflatemodell

Overflatemodellen (SINTEF, 1994a) er basert på programmet SINBAD utviklet ved SINTEF og NTH. SINBAD er et såkalt distribuert hy-

drologisk program for beregning av overvannsdannelse, og inkluderer fordeling mellom impermeable og permeable flater, vegetasjons- og høydeforhold i det aktuelle avrenningsområdet. Modellen er viktig for vannbalanseberegninger i kombinasjon med grunnvannsmo-dellering. SINBAD beregner nedbørens fordeling mellom overflate-avrenning, fordamping, infiltrasjon og grunnvannsdannelse.

Det er gjennomført en omfattende innsamling og bearbeiding av klimadata og områdedata. Dataene er verifisert, korrigert og statistisk bearbeidet (SINTEF, 1994b). Datagrunnlaget omfatter døgn-nedbør (regn og snø) og temperatur i perioden 1946-93, korttids-nedbør i perioden 1976-93 samt målinger av snøsmelting med snø-pute. Områdedata er knyttet til eksisterende flyplass og omfatter ledningsnett, tette arealer, fallforhold m.m. Datagrunnlaget er benyttet ved kalibrering av SINBAD modellen og som inngangsverdi-er ved tilsvarende simulering på den nye hovedflyplassen. Modellen er sensitivitetstestet.

Grunnvannsmodell

Det er etablert en grunnvannsmodell (SINTEF, 1994c) basert på den numeriske modellen MODFLOW. MODFLOW er et kommersielt og anerkjent internasjonalt strømnings- simuleringsprogram utviklet av US Geological Survey. Grunnvannsmodellen er knyttet til overflate-modellen via et eget utviklet programverktøy. Slik den er utformet i dag har den ikke detaljoppløsning i randområdene.

En forutsetning for å kunne modellere tidsavhengig grunnvannstrømning tett opp til de naturlig eksisterende forhold, er kunnskap om grunnvannsmatingen og tilgang til et kraftig simuleringsverktøy. For å optimalisere modellen, er det gjennomført et omfattende kalibreringsarbeid som også inneholdt en sensitivitetsanalyse av ulike viktige hydrogeologiske parametre. Etablering av modellen og grunnvannsimuleringene er utført av SINTEF etter rådgivning fra Bernald Strømme A.S.

3.2.2 Modellens rammebetingelser

Grunnvannsmodellen er opprettet på grunnlag av et utstrakt kjennskap til de hydrogeologiske forhold. Dette omfatter kjennskap til lagdeling, hydraulisk ledningsevne, laggrenser og randbetingelser. Modellen er en 3-lags modell der hydraulisk ledningsevne (vertikalt og horisontalt) innenfor hvert lag er statistisk fordelt i henhold til funn i felt. Den har ingen (så langt) mulighet for å simulere de komplekse sedimentasjonsformene langs deltaranden og effekten dette har for grunnvannstrømningen her. Grunnvannsmodellens randbetingelse er gitt som fast potensiale grunnet bl.a. manglende data og liten mulighet for flukskontroll. Dette medfører mindre grad av sensitivitet i randsonen.

Fra grunnvannsdannelses-perioden 1946-1993 ble perioden 1981-1990 valgt ut som representativ for simuleringsoppgaven. Perioden omfatter en middelssituasjon med lokale maksimum og minimum grunnvannsdannelse. Fra denne perioden vises grunnvannstilstanden fra tre utvalgte år, det vil si:

- 1981: Enkelt år med middels høy grunnvannsmating (377mm).
- 1988: Enkelt år med høy grunnvannsmating (674 mm). 1987 hadde også tilsvarende høy mating (645 mm).

-1990: Enkelt år med liten mating (351 mm). Forutgående år, 1989, hadde tilsvarende liten mating (329 mm).

Den modellerte førsituasjonen er knyttet til eksisterende forhold ved Gardermoen flyplass. Med grunnvannstilstand forutsettes grunnvannsnivået og grunnvannsstrømming (vannfluks) gjennom kontrollsnitt (parallelle a-c, **figur 1**) mot randen av det modellerte området. Den modellerte ettersituasjonen omfatter et eksempel på ny flyplass utbygget. Det presiseres at dette eksempelet ikke må oppfattes som valgt løsning.

På den nye flyplassens grøntområder forutsettes nedbøren infiltrert direkte. Fra tette flater vil vannet transporteres ut til kanten av rullebanene for infiltrasjon. Grunnvann drenerer fra jernbanetrasé forutsettes reinfiltret (totalt 15 l/s) i et reinfiltrasjonslegg (linjer). Forurenset overvann (monopropylenglycol) fra avisningsplattformene forutsettes transportert ut av modellen.

Disse simuleringene har forutsatt at senkingen av grunnvannsnivået i byggefasen grunnet drenering langs kulvert og jernbanetrasé, startet i mars 1994. En forenklet simulering av grunnvannssenkning i selve byggefasen (uten seksjonering) er gjennomført. Etter 36 mnd antas byggeprosessen å være avsluttet. Fra dette tidspunkt analyseres en periode på 10 år (1997-2006). Grunnvannsmatingen i denne perioden er ekvivalent med forholdene i perioden 1981-1990. Simuleringsløsningene er tidsavhengige (transient løsning).

Mulige grunnvannseffekter i randsonen mot Vikka er forsøkt målt ved å etablere et kontrollsnitt for flukskontroll samt å sammenligne "grunnvannskotekart" fra før og ettersituasjonen. Ved å sammenligne vannstrømmen gjennom et gitt snitt for det simulerte inngrepet i grunnvannsmagasinet med før-situasjonen, kan vi få et inntrykk av hvilken effekt inngrepet medfører. De beregnede vannfluksene gir ikke noe nøyaktig informasjon om de vannmengder som strømmer ut av området, men må betraktes som indikatorparameter. Sammenligning av grunnvannskotekart (før- og ettersituasjonen sammen) gir også et godt inntrykk av inngrepets effekt på grunnvannsstrømningen ut mot Vikka.

3.3 Ravineerosjon

De naturlige erosjonsprosessene i leirterrenget på Romerike kan grovt deles inn i følgende hovedgrupper:

- Avrenning i dreneringssystemet
- Massebevegelse i sideskråninger
- Overflateavrenning
- Underjordisk kanalisert drenering ("piping")
- Grunnvannserosjon

Omfanget av erosjonen har blitt kartlagt i utvalgte raviner på Romerike i Leiras nedbørfelt (Bogen og Sandersen, 1991).

3.3.1 Avrenning i dreneringssystemet

Den direkte påvirkningen av det rennende vannet fører til erosjon i bekkeløpet. Erosjonsintensiteten er i hovedsak bestemt av strømningshastigheten og av motstandskraften til løpsmaterialet. Når vi betrakter et

tvversnitt av bekkeløpet, kan det være naturlig å dele løpserosjonen inn i to hoveddeler, henholdsvis lateral og vertikal løpserosjon.

Lateral (sideveis) løpserosjon

Strømningshastigheten og dermed også erosjonen er størst i yttervinger, mens det har en tendens til å foregå en sedimentasjon i innersvinger. På sikt kan disse prosessene resultere i en sideveis forflytning av hele bekkeløpet, slik tilfellet er med et typisk meandrerende løpsmønster. Et slikt mønster finnes på lange strekninger i Leira, og da spesielt i de nedre delene nærmest Øyern. Vikka har også utviklet en elveslette hvor sideveis forflytning finner sted om enn i mindre grad.

Erosjonsintensiteten vil også være avhengig av i hvilken grad det foregår massebevegelse (bakkesig) i sideskråningene ned mot bekkeløpet, idet bekkeløpet vil forsøke opprettholde sitt tverrsnittsareal ved å frakte bort tilført materiale fra skråningene.

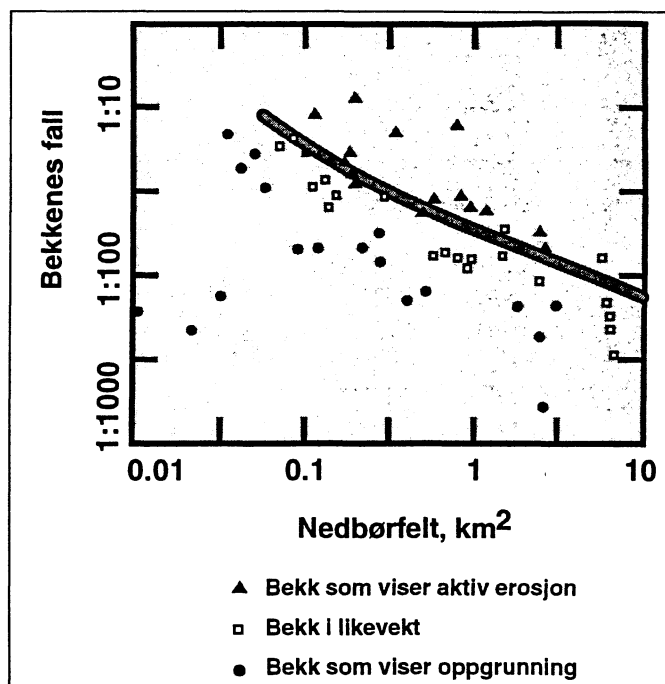
Vertikal løpserosjon (bunnsenkning):

Graden av vertikal løpserosjon vil først og fremst være avhengig av lengdeprofilens utseende. Et bekkeløp med en gitt vannføring og kornfordeling av bunnsedimenter vil med tiden prøve å grave seg ned inntil det når det såkalte likevektsprofil.

Norges Geotekniske Institutt gjennomførte i slutten på 1960-tallet en omfattende studie av problemer vedrørende kvikkleireskred på Romerike (Bjerrum 1971). I dette arbeidet ble et antall bekker innenfor et nedbørfelt (Hynna) oppmålt for å bestemme gradient og areal av nedbørfelt. Hver bekk ble klassifisert etter graden av erosjon:

- Bekk som viser aktiv erosjon
- Bekk i tilnærmet likevekt
- Bekk som viser oppgrunning

Hver bekk ble avmerket i et diagram som vist i **figur 4**. På bakgrunn



Figur 4
Sammenhengen mellom arealet av et nedbørfelt og løpsgradient for bekker med ulik grad av vertikal løpserosjon (Bjerrum, 1971).

av dette diagrammet var det mulig å trekke en linje som skilte de bekker som hadde aktiv erosjon fra de bekker som var i tilnærmet likevekt uten nevneverdig erosjon. Denne linjen kan uttrykkes ved følgende ligning:

$$S_k = 0,0116 / A^{0,55}$$

der S_k er kritisk gradient og A er nedbørfeltets areal i km^2 . I bekker med brattere fall enn denne kurven vil det fortsatt foregå vertikal løpserosjon, og det er også mulig å vurdere hvor stor den potensielle nedskjæringen kan bli.

Figur 5 og 6 viser eksempler på lengdeprofiler av Vikka og Slemdalsbekken, og hvordan disse ligger i forhold til likevektsprofilen. Slemdalsbekken illustrerer hvordan forholdene er i sideravinene til Vikka. I de øvre delene av disse ravinene er det fortsatt en aktiv nedskjæring som utløser skred i sideskråningene. Erosjonsintensiteten i Slemdalsbekken som er en typisk skredravine med V-format tverrprofil, ble målt til 1131 tonn/km^2 i året (Bogen et. al., 1993). Hovedløpet i Vikka har en lavere erosjonsintensitet, målt til 141 tonn/km^2 i året for perioden 1989-1993. Grunnvannsravinene spiller en viktig rolle i dette systemet ved at sanden fra deltaavsetningen føres i bunntransport og danner et dekk sjikt i elveløpene. Dette har en stabiliserende effekt.

Tilpasningen til et likevektsprofil gjelder for et bestemt hydro-

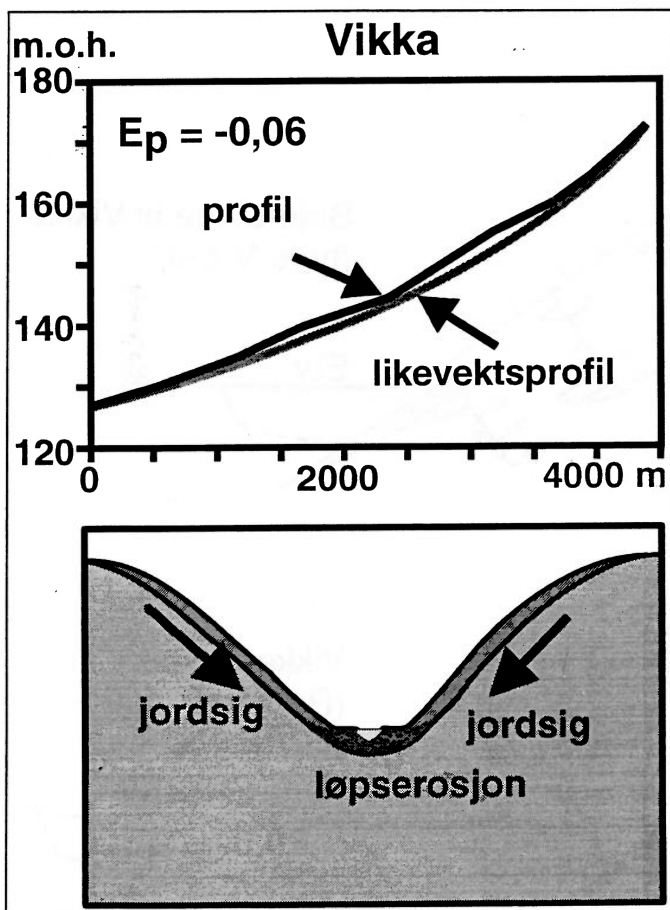
logisk regime og den nåværende materialtransport. Hvis avrenningen endrer seg på grunn av endring i nedbør eller som et resultat av menneskelig virksomhet, vil det tilpasses et nytt likevektsprofil. Profilet vil også endre seg hvis materialtilførselen endres.

3.3.2 Massebevegelse i sideskråninger

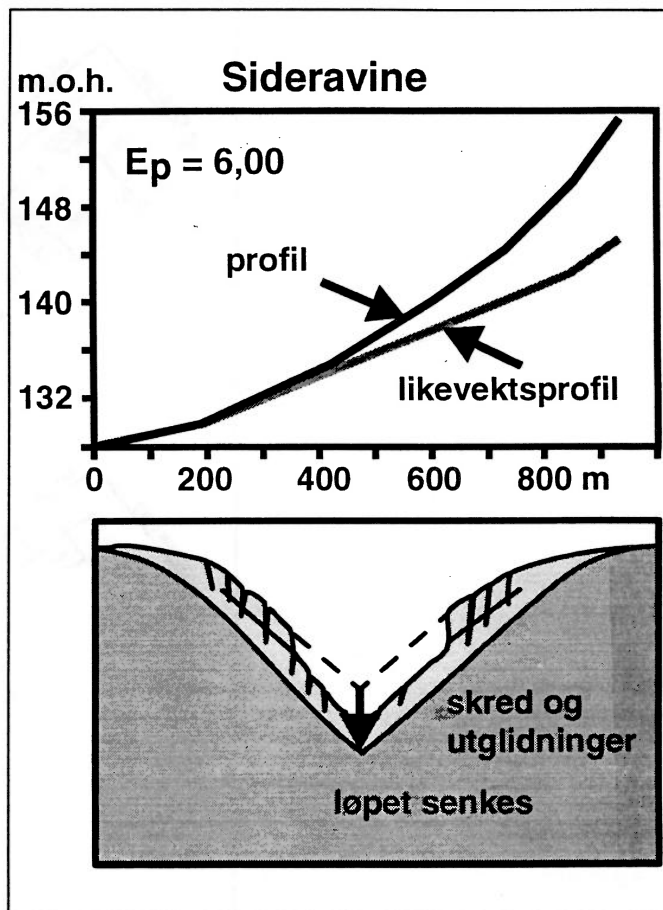
Massebevegelse er et samlebegrep for masseforflytning som skjer på grunn av tyngdens påvirkning. Denne prosessen vil føre til en transport av løsmasser nedover skråningen. Dersom det renner en bekk i skråningsfoten, vil denne grave i det tilførte materialet og transportere det nedover nedbørfeltet. Dette samspillet mellom massebevegelse i skråninger og fluvial erosjon/transport er sammen med grunnvannserosjonen den viktigste nedbrytningsprosessen i landskapsvernområdet. Det er vanlig å skille mellom raske og langsomme massebevegelser.

Raske massebevegelser: Skred og utglidninger

Stabiliteten av en skråning er i første rekke avhengig av porevannstrykket og skråningsgradienten, og avtar med økende poretrykk ved f.eks. sterk nedbør eller snøsmelting og med økende gradient. Stabiliteten vil også bli redusert dersom det skjer en undergraving av skråningsfoten som følge av erosjon i et bekkeløp. Dessuten har erfaring vist at menneskelige inngrep som f.eks.



Figur 5
Lengdeprofilen av Vikka sett i forhold til likevektsprofilen og typisk tverrprofil med dominerende erosjonsprosess.



Figur 6
Lengdeprofilen av sideravinene sett i forhold til likevektsprofilen og typisk tverrprofil med dominerende erosjonsprosess.

snauhugging eller anlegg av skogsbilveier i bratte skråninger har gitt opphav til skred.

Trær og vegetasjon har en viktig stabiliserende effekt ved at rot-systemene binder løsmassene i skråningene. Trærne forbruger også markvann og bidrar til at porevannstrykket senkes og stabiliteten økes.

Langsom massebevegelse: Jordsig

Væte-/tørke-sykluser og en veksling mellom frysing og tining vil føre til en sakte bevegelse av løsmassedekket nedover skråningen. Denne bevegelsen som kalles bakkesig, er størst i silt- og leirholdige jordarter og øker dessuten med økende skråningsgradient. I de bratte ravnedalene i de marine leirområdene vil bekkeløpene få en stadig tilførsel av løsmasser fra sidene på grunn av bakkesig. For at bekkeløpet skal opprettholde sitt tverrprofil må det foregå en sideveis løpserosjon.

For å måle størrelsen på dette siget ble det våren 1990 boret 2 m dype hull langs to profiler i Vikkas nedbørfelt, 5 hull langs hvert profil. I hullene ble det satt ned armerte plastør. Ved å måle forandringer i helningen på disse rørene, kan bakkesiget beregnes. Målingene så langt indikerer at gjennomsnittlig sig i overflaten er av størrelse 1-2 cm pr. år jevnt avtagende ned til omlag 1 m dybde (**figur 7**). Siget er størst i de bratteste delene av profilet.

3.3.3 Overflateavrenning

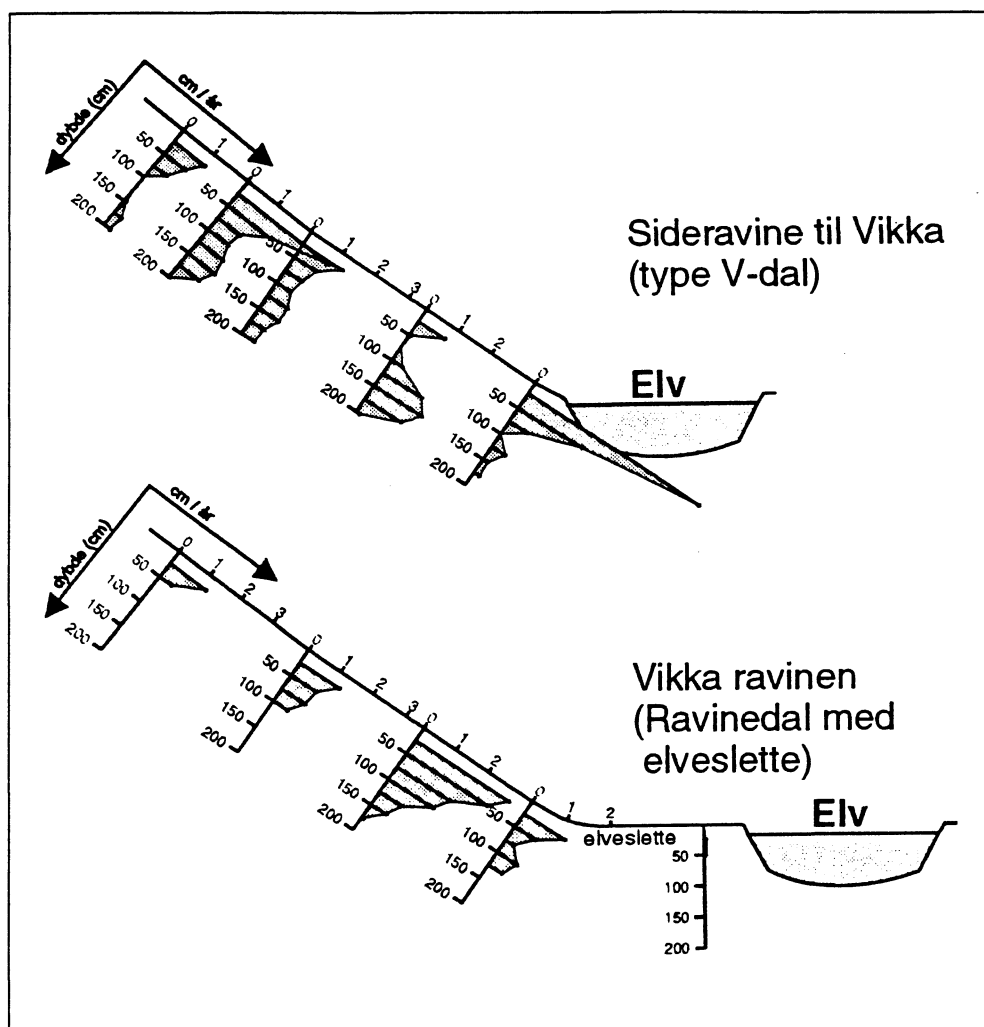
Overflateavrenning utenom det vanlige dreneringsnettet vil kunne grave i løsmassedekket. Denne avrenningsformen er i Norge stort sett begrenset til arealer der det naturlige vegetasjonsdekket er fjernet (se kapittel 3.4).

På steder med vegetasjon vil humusdekket og røttene føre til at infiltrasjonen i de aller fleste tilfeller er stor nok til å hindre avrenning på overflaten. I tillegg kan det forekomme overflateavrenning i bratte skråninger under spesielle nedbørforhold, eller i perioder når telen hindrer gjennomstrømming av vann nedover i jordprofilet, men vanligvis vil ikke slik overflateavrenning avstedkomme erosjon.

3.3.4 Underjordisk kanalisert drenering

Det ble under feltbefaringene observert flere eksempler på underjordiske dreneringskanaler med diameter i gjennomsnitt rundt 10-20 cm. Slike dreneringsystemer er beskrevet i internasjonal litteratur, og den engelske termen for denne avrenningsformen er "piping". Det synes klart at det vil foregå en erosjon i disse kanalene i forbindelse med flomsituasjoner.

Omfanget av slik underjordisk drenering er ikke kjent, og det er derfor vanskelig å anslå størrelsen på erosjonsbidraget som følge av denne prosessen.



Figur 7
Målinger av bakkesig i to skråninger i Vikkas nedbørfelt.

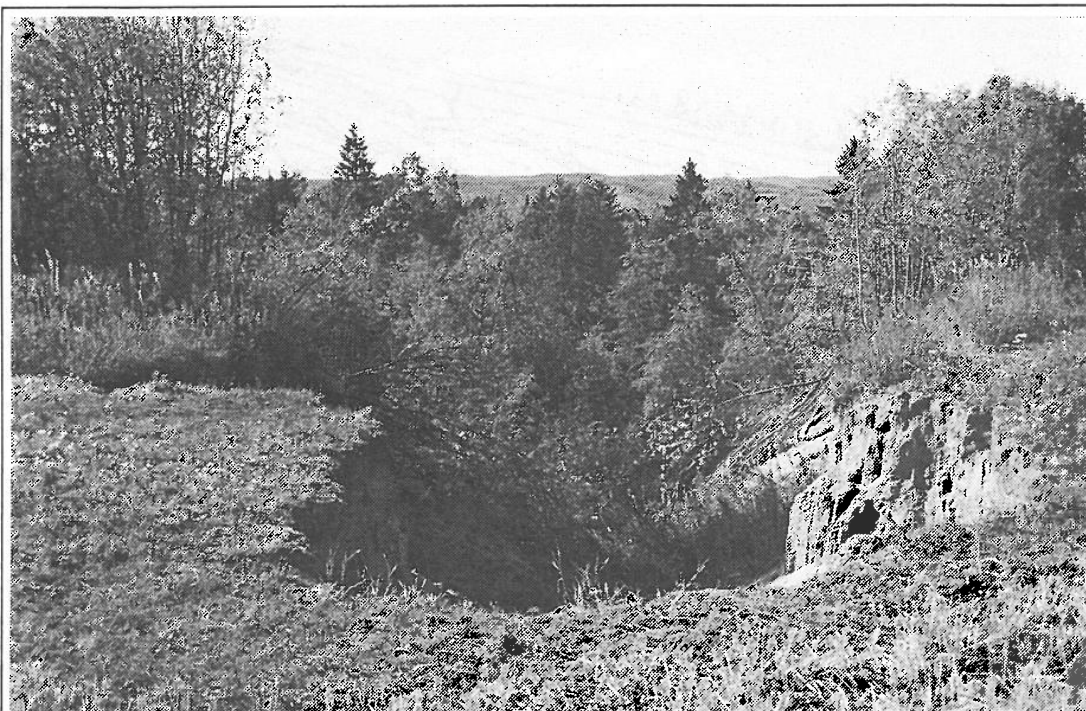
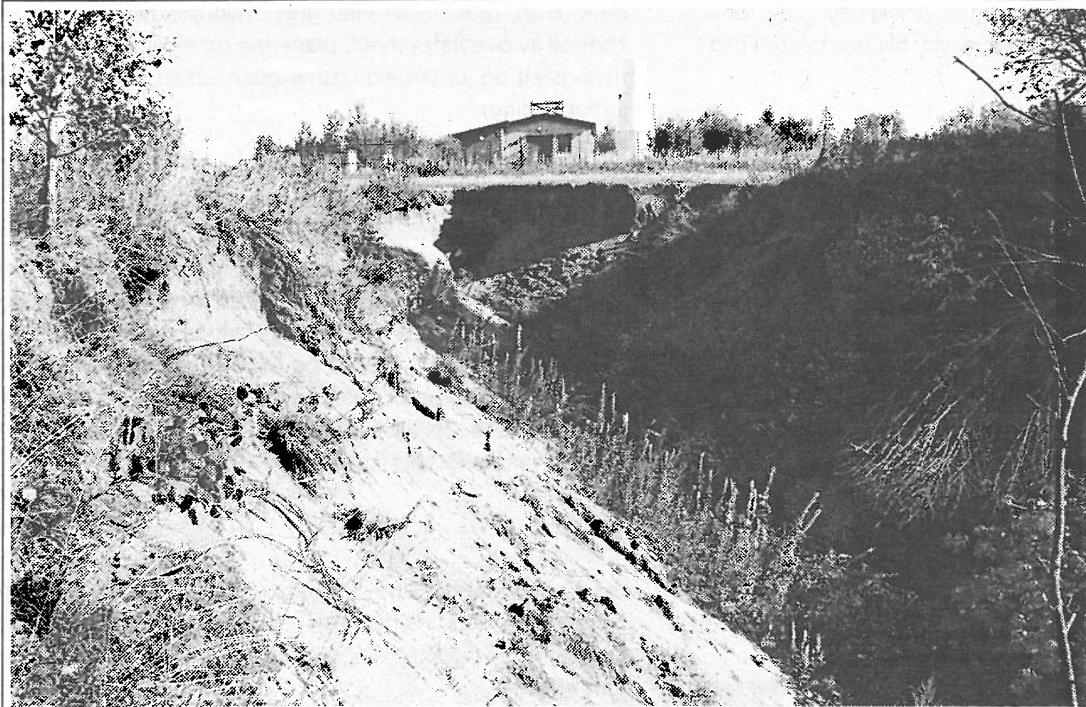
3.3.5 Grunnvannserosjon

Langs Gardermo-sletta fins det en rekke grunnvannskilder. Mange av rainedalene i Vikka og Sogna ender opp i grunnvannsraviner langs Gardermo-platået. I disse ravinene spiller grunnvannet en viktig rolle både med hensyn til avrenning og erosjonsprosesser.

I en årlig middelflom utgjør bidraget fra grunnvannet ca. 30 % ved målestasjonen i Vikka (**figur 1**). I sideravinene inn mot Gardermo-en bidrar sannsynligvis grunnvannet enda mer til avløpet. Dette innebærer at grunnvannet har stor betydning for løpserosjonen og nedskjæringen i de øvre og aktive delene av ravinesystemet.

Erosjonsprosessen er mest intens når grunnvannsnivået i løsmassene faller med stor gradient ut mot ravinene. Hvis poretrykket i skråningen ikke blir kompensert med mottrykk fra tilstøtende masser, vil skråningen bli ustabil. Grunnvannsraviner dannes særlig i sand- og grusavsetninger hvor permeabiliteten er stor. Den kan under spesielle forhold være en særdeles aktiv erosjonsprosess og er kjent fra nedtappinger av magasiner, f.eks. Holmsen (1963), Korbøl (1975) og Bogen (1986). Slike inngrep er ikke direkte sammenlignbare siden det er mange forhold som begrenser omfanget i natursystemene. De viser imidlertid at selv små mengder grunnvann kan erodere betydelige masser.

I grunnvannsravinene består hver utrasning ofte kun av et lite vo-



Figur 8
Aktiv ravineerosjon rett syd for dagens rullebane.

lum. Prosessen kan imidlertid skje raskt. Eksempler på dette er de to grunnvannsravinene i lokalitet 1 og 2 på **figur 1**. Ved lokalitet 1 mener lokalkjente at området var stabilt i begynnelsen av 70-årene. Flybilder bekrefter dette. På slutten av 1980-tallet ble det observert aktiv erosjon, og i løpet av de to siste årene har ravinen gravd seg ca. 30 m tilbake (**figur 8**). Ved lokalitet 2 ble det observert en lignende periode med aktiv erosjon på 1970-tallet. I dagens situasjon har aktiviteten her avtatt, og den øvre delen av ravinen virker i dag stabil.

Ut fra disse observasjonene synes forskjellige raviner å være aktive i ulike tidsrom trolig pga en kombinasjon av endringer i grunnvannstrømmen og grunnvannsnivå, sammen med ulike sedimentologiske forhold langs ravinekanter. En nødvendig betingelse for at en ravine skal forbli aktiv, er at utraste masser blir transportert nedstrøms av rennende vann.

3.4 Erosjon på jordbruksareal

Erosjon på jordbruksareal skyldes hovedsakelig at overflatevann strømmer over arealene i perioder når jorda er uten plantedekke. Vanligvis er erosjonen størst i perioden fra høst til vår. Jordarbeiding om høsten fører normalt til større erosjon i vinterperioden enn for oppløyd areal.

3.4.1 Inndeling av erosjonsformer

- Flateerosjon skjer på hele jordet, arealet, **figur 9**. Den kan deles inn i tynnsjiktererosjon der tynne jordlag, under 0.2 mm/år, fraktes bort og fureerosjon (rillerosjon, fårerosjon) der vannet graver konsentrerte furer som kan fylles ved normal jordarbeiding.

- Groperosjon (grøfteerosjon): Vannet graver dype grøfter eller nyd-

annede raviner som ikke kan fjernes med vanlig jordarbeiding, mindre planeringstiltak må til.

- Punktererosjon: Erosjon i enkelte punkter som usikrede grøfteutløp og nedløpskummer for overflatevann.

- Erosjon gjennom drenssystem: Jordtap målt ved utløp av drenssystem. Partiklene kan stamme fra overflaten eller fra indre erosjon i jorda.

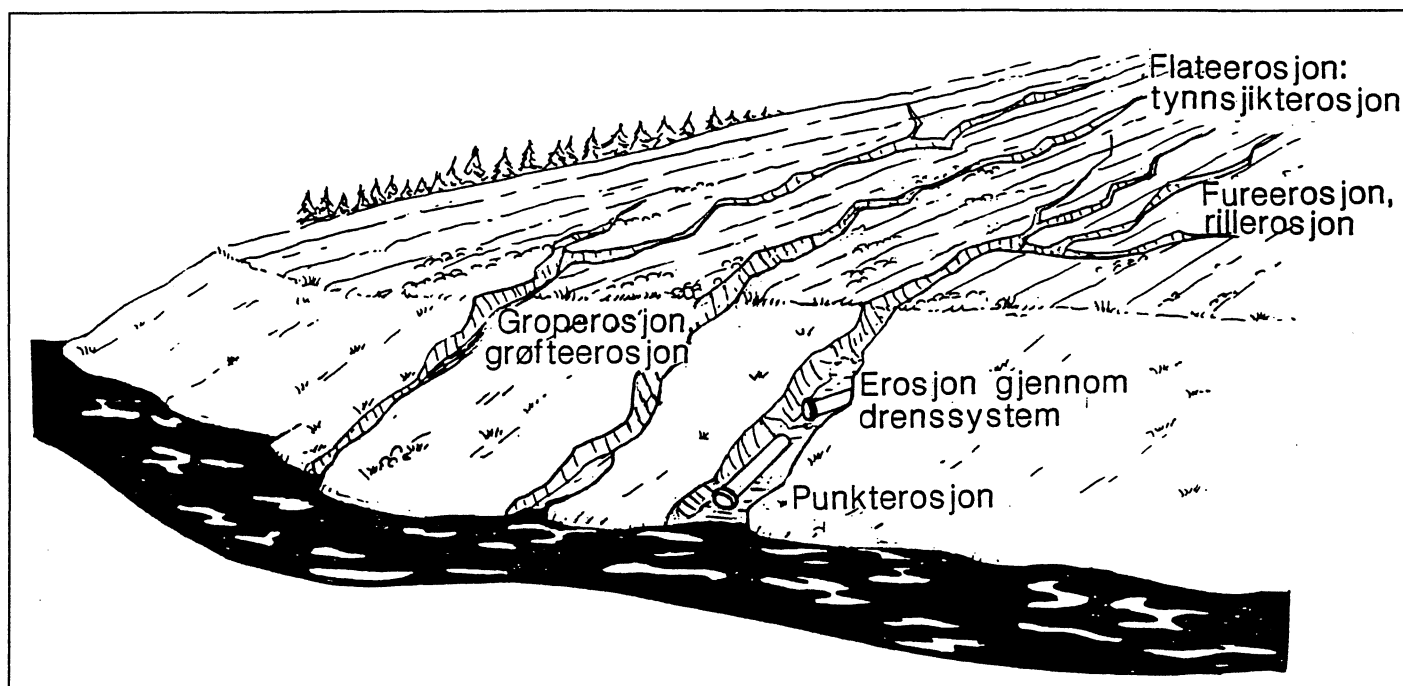
Erosjonen er avhengig av både naturgitte faktorer og av landbrukets egne driftsfaktorer. De naturgitte faktorene er: jords eroderbarhet, topografi, hellingslengder og hellingsgrader, og klimaforhold som regnvæsepisoder, snøsmelting og tele og eventuelt regnvær i smelteperioden. Driftsfaktorene er: arealbruk (korn, radkulturer eller gras), hydrotekniske anlegg med kontroll av overflatevannet, planering og erosjonssikring av planeringsfelt og jordarbeidingsmetoder (utsatt og/eller forenklet jordarbeiding).

3.4.2 Naturlig erosjonsrisiko

Det foreligger ikke målinger av erosjon fra jordbruksarealet innenfor landskapsvernområdet. Norsk institutt for jord- og skogkartlegging (NIJOS) har jordsmonnskartlagt området og utarbeidet erosjonsrisikokart (NIJOS, 1994a og b). Beregningene av gjennomsnittlig erosjonsrisiko for flateerosjon er basert på en tilpasning av den universelle jordtapsligningen, USLE, (Wishmeier og Smith, 1978) til norske forhold (Lundekvam 1990).

$$A = R * K * L * S * C * P$$

der A = gjennomsnittlig årlig jordtap, R = faktor for regnenergi, K = faktor for jords eroderbarhet, L * S = terrengfaktor, hellingslengde og hellingsgrad, C = driftsfaktor og P = faktor for spesielle jordverntiltak.



Figur 9
Prinsippskisse av ulike erosjonstyper på jordbruksareal.

$R * K * LS$ er naturgitte faktorer, mens det i hovedsak er de to siste jordbruket kan påvirke ved ulike driftsforhold og dyrkings-system. For Romerike har Lundekvam (1990) utarbeidet følgende sammenheng for beregning av erosjon fra planert og uplanert jord:

-Uplanert jord: Jordtap (kg/daa * år) = $224 * K * l * S * CR$.

-Planert jord: (kg/daa * år) = $700 * K * l * S * CR$

CR settes til 1 ved standard vårkorndyrking med høstpløying. NIJOS bruker ovennevnte ligning og kartlegger jordegenskaper (K faktor) og hellingsgrad (S faktor), men bruker standard 100 m hellingslengde ved utregning av erosjonsrisiko for de ulike arealene.

Vi har benyttet samme beregningsgrunnlag og modeller som NIJOS, men de virkelige hellingslengdene for hvert enkelt skifte er lagt inn etter metode utviklet av Eggstad (1992). Det er også tatt hensyn til at et skifte kan ha en blanding av ulike jordtyper og hellingsgrader. Resultatene av denne beregningen gir en oversikt over arealfordeling i ulike erosjonsrisikoklasser (**tabell 1 og 2**). Beregningene er gjort for 1709 daa jordbruksareal i Vikkas nedbørfelt. Det gir som resultat en midlere erosjon på 210 kg/daa eller 358 tonn totalt.

Beregningene viser at 30 % av arealet har liten erosjonsrisiko. Klassene med liten og middels erosjonsrisiko, mindre enn 200 kg/daa og år, utgjør 72 % av arealet og 26 % av jordtapt. Det vil si at 28 % av arealet står for 74 % av beregnet jordtap. Beregningene angir ikke årlige variasjoner i jordtap, men årlig gjennomsnitts erosjonsrisiko mellom de ulike areal innen feltet.

Arealene med liten risiko, er flate med høyt sandinnhold og stor infiltrasjonsevne. Arealene med høyere silt og leireinnhold har også større erosjonsrisiko. Dårlige strukturegenskaper, liten infiltrasjonsevne og liten stabilitet gjør planeringsjorda ekstra utsatt. De planerte arealene har også lange og tildels bratte hellinger noe som forsterker erosjonsrisikoen ytterligere. Arealene med forsenkninger har ofte konsentrerte utløp til raviner.

Bogen et. al. (1993) har ved fordeling av erosjonsbidrag på de ulike kildene i Vikkas nedbørfelt benyttet gjennomsnittsverdien 177 kg/daa for jordbruksarealet. Disse beregningene er også basert på erosjonsrisikokartene til NIJOS og det er valgt et middeltall for erosjonsrisiko i hver klasse. Når en tar i betraktning de ulike beregningsmetodene, er de generelle anslagene for erosjonsrisiko av samme størrelsesorden, 177kg/daa mot beregninger her på 210 kg/daa. Til sammenligning er middelet for Slemdalsbekkens nedbørfelt beregnet til 380 kg/daa. Slemdalsbekken, også et delnedbørfelt til Leira, er representativ for et ravineområde med høyere erosjonsintensitet.

Selv om det generelt ikke er så stor erosjonsrisiko i området, er bidraget fra jordbrukserosjonen i Vikkas nedbørfelt av Bogen et. al. (1993) anslått til å utgjøre 70 % , mens den naturlige erosjonen er beregnet til ca 30 %. Det er da forutsatt at alt arealet høstpløyes og det er ikke tatt hensyn til at en del erosjonsmateriale vil sedimentere der terrenget flater ut og derfor ikke når vassdraget. Forholdet vil derfor endres ved bl.a. endret driftsform som f.eks. mindre høstpløying.

3.4.3 Fureerosjon fra konsentrerte vannstrømmer

I tillegg til flateerosjon, kan det være stor erosjon forårsaket av stor overflateavrenning konsentrert i forsenkningene. Jordtapene ved slik erosjon kan overstige de gjennomsnittlige tapene ved flateerosjon og denne erosjonstypen kan ikke beregnes ved jordtapsligningen. I slike forsenkninger er det viktig å ha nedløpskummer som leder vannet til avløpssystemet før det får gjort stor erosjonskade. Dersom slike anlegg mangler eller ikke fungerer, kan det bli svært stor erosjon. Spesielt på planeringsjord kan skadene bli store. Dersom vannet kommer ut i konsentrert utløp fra jordet, kan det grave i fyllingskanten. Erfaringene viser at det ofte er feil i utformingene av slike anlegg.

3.4.4 Erosjon på planeringsfelt

På grunn av dårligere strukturegenskaper blir erosjonsrisikoen for flateerosjon på planert areal regnet å være 3 ganger høyere enn fra uplanert areal. Jorda har liten infiltrasjonsevne. Dårlig struktur gir gjenslamming slik at jorda har liten motstandsevne mot erosjon ved overflateavrenning. Planeringsfelt har ofte store flater som samler vannet i forsenkninger. Dersom det ikke er etablert anlegg for inntak av overflatevannet, kan dette i tillegg også gi høye erosjonstap. Omfanget av erosjonen vil også avhenge av om det ble iverksatt erosjonshindrende tiltak da planeringsarbeidet ble utført. Vanlige feil er at de avsluttende skråningene er dårlig sikret slik at overflatevann

Tabell 1. Fordeling av erosjonsrisiko beregnet med aktuelle hellingslengder.

Erosjon (kg/daa)	Areal (daa)	Relativt areal	Jordtap (kg/daa)	Relativt jordtap
0-100	867	0.507	38874	0.108
100-200	379	0.222	54659	0.152
200-300	71	0.042	17598	0.049
300-400	112	0.066	39085	0.109
400-500	37	0.021	17598	0.049
500-600	56	0.033	29495	0.082
600-700	8	0.005	5307	0.015
700-800	39	0.023	30838	0.086
800-900	103	0.06	83901	0.234
900-1000	13	0.007	12308	0.034
1100-1200	24	0.014	29230	0.081

Tabell 2. Areal med ulik erosjonsrisiko inndelt etter samme klasser som ved NIJOS utarbeidelse av erosjonsrisikokart

Erosjonsklasse (kg/daa)	Areal (daa)	Relativt areal	Jordtap (kg)	Relativt jordtap
0-50	524	0.306	14118	0.039
50-200	722	0.422	79415	0.221
200-800	324	0.189	139921	0.39
800>	140	0.082	125439	0.35

Tabell 3. Erosjonsmålinger i små nedbørfelt på Romerike.

* = målt i samme felt, men ulikt tidsrom.

Jordart	År	Jordtap kg/daa	
siltig mellomleire	1986-1988	224	Rognerud et.al (1989)
siltig mellomleire*	1986-1988	197	Lundekvam (1993a)
*	1984-1989	233	"
*	1984-1991	306	"

renner over skråningen og graver. Det kan føre til ny ravinering innover på jordet og gi jordtap som tilsvarer flere tonn/daa. Dersom grøfteutløp som munner ut i en planeringskråning ikke er sikret, kan det gi omfattende graving og ravinering. Bogen et. al. (1993) har beregnet erosjon fra et slikt usikret grøfteutløp til å utgjøre opp til 20 tonn pr år fra en enkelt eiendom.

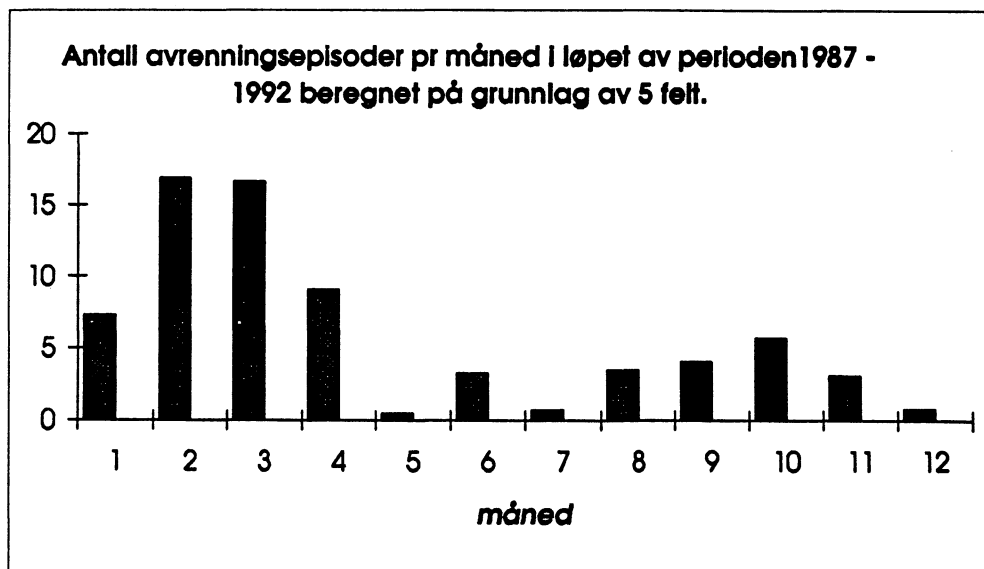
I Vikkas nedbørfelt er det planert 550-600 daa (Landbrukskontoret i Ullensaker). Største delen av dette arealet ligger innenfor Romerike landskapsvernområde. Planert areal utgjør omlag en tredel av jordbruksarealet. 15 % av planeringsarealet er klassifisert med svært stor erosjonsrisiko. 30 % av planeringsarealet har stor erosjonsrisiko, 45 % middels erosjonsrisiko og 10 % liten erosjonsrisiko. Det er gjennomført tiltak mot erosjon i ulikt omfang på nærmere 60-70 % av det planerte arealet, mens det mangler tiltak på en del arealer med til dels svært stor erosjonsfare.

3.4.5 Erosjonsmålinger på jordbruksareal.

Uhlen og Lundekvam har anslått erosjon på lite erosjonsutsatt jord til 75 kg/daa og på erosjonsutsatt jord 300 kg/daa. Det er stor variasjon i jordtap fra år til år (**tabell 3**). I lange måleserier kan jordtapet variere med en faktor på nærmere 10 (Lundekvam 1993a).

Figur 10

Gjennomsnittets antall episoder med overflateavrenning 1mnd for 5 felt på Romerike i perioden 1987-1992. (Øygarden, in prep).

**Tabell 4.** Årlig jordtap i kg/daa for 5 felt på Romerike i perioden 1987 - 1992. (Øygarden, 1994).

Felt nr.	1987	1988	1989	1990	1991	1992
101	74	26	7	152	8	108
102	52	15	3	157	10	20
106	202	186	72	263	57	20
107	301	276	142	31	34	12
108	112	40	20	494	84	358

Årsvariasjoner i erosjonstap

De største jordtapene er målt i kortvarige episoder med stor overflateavrenning spesielt i vinterperioden. **Figur 10** viser antall avrenningsepisoder pr. måned i løpet av perioden 1987-1992, beregnet på grunnlag av 5 felt (**tabell 4**). Det er særlig vinterperioden som kommer ut som en risikoperiode for overflateavrenning. De siste års milde vintre er årsaken til avrenningsepisodene i januar og februar. Normalt pleier det ikke være stor avrenning før ved snøsmelting i mars-april.

1990 er det året med erosjonsmålinger på jordbruksareal da det ble registrert størst erosjon. Det var da tele i bakken. Snø og senere mildvær med regn på delvis opptint jord i januar/februar ga stor erosjon. Lundekvam (1993a) målte 920kg/daa i jordtap vinteren 89/90 mot 150 kg/daa i 91/92 for et felt med planert siltig mellomleire. Fureerosjon på mellom 300-500 kg/daa ble påvist for 1990-92 (Lundekvam, 1993b). Furene oppsto ved hellingslengder over 150 m.

Det ble svært store skader på areal der det ikke var inntak for overflatevann og i dårlig sikrede planeringsfelt. Noen eksempler er gitt i **tabell 5**. Selv på sandjord som vanligvis har liten erosjonsrisiko ble det stor erosjon der vannet fikk samle seg i konsentrerte strømmen. På nabojordene som ikke var jordarbeidet var det derimot ikke synlige erosjonsspor. Slike eksempel som nevnt i **tabell 5** viser hva som eventuelt kan skje med unormale vinterforhold på ugunstige tidspunkt.

Det er viktig å være klar over den store naturlige variasjonen i erosjon. Selv om disse eksemplene viser "ekstreme episoder" kan lignende forhold med konsentrerte vannstrømmer også forekomme i landskapsvernområdet. Det er vært det enkelte år som i første rekke avgjør om det blir avrenning på overflaten. Driftsformen som er valgt, høstpløying eller ikke, kontroll med overflatevann etc. og erosjonssikring på planeringfelt, er aktivt med å avgjøre hvor stort det faktiske jordtapet blir.

Tabell 5. Beregnet volum av utrast/erodert masse jan/feb 1990 fra felter med mangelfulle hydrotekniske tiltak (Øygarden in prep.).

Jordtype	Jordtap (m ³)	Jordtap (tonn)	Lengde av erosjonsspor (m)	Største bredde (m)	Største dybde (m)
Lettleire	124	174	73	5.7	1.5
Siltig mellomleire	19	27.9	180	0.65	0.4
Siltig mellomleire	10.8	15.1	256	0.7	0.07
Siltig sand	23.8	33.2	210	1.83	0.95
Sandig silt	186	260	368	2.5	1.55

3.4.6. Jordarbeiding

Driftsformer: Korndyrking er dominerende driftsform på mesteparten av arealet. Det har vært vanlig å høstpløye arealet, men det er nå innført en tilskuddsordning for ikke å jordarbeide arealene om høsten. Det er forventet at andelen av areal som ikke pløyes om høsten vil øke og at risikoen for erosjon dermed vil reduseres. **Tabell 6** gir en oversikt over relativ erosjonsrisiko ved ulike dyrkingssystem.

Tabell 6. Erosjonsrisiko ved ulike driftsformer. Lundekvam (1993c.)

Dyrkingssystem	CR- faktor relativt jordtap
Stubbharving med høstpløying	1
Harving høst og vår	0.63
Vårpløying, ingen høstharving	0.4
Bare vårharving	0.35
Direktesåing	0.29

4 Vurderinger

4.1 Simuleringer

Hydrologiske simuleringer

Korrigert årlig nedbør er vist på **figur 11**. Årsnedbøren er et viktig parameter for grunnvannsdannelsen. Årlig grunnvannsdannelse for perioden 1957-1993 er presentert henholdsvis som årlig grunnvannsmating, midlere grunnvannsmating som 3 års perioder og midlere grunnvannsmating som 10-årsperioder. Disse er vist på **figur 12**.

Grunnvannsdannelse i perioden fra 1981 til 1990 ble valgt fordi denne har en gjennomsnittlig grunnvannsdannelse (476 mm) som er ubetydelig høyere enn middelverdien for perioden 1957-1993 (474 mm/år). Variasjonen i grunnvannsmatingen er rimelig stor, 674 mm/år i 1988 (gjentak 27 år) og 329 mm/år i 1989 (gjentak 9 år). Dette gir en god mulighet for å beskrive naturlig endring (variasjonsområde) av grunnvannsnivå og grunnvannsstrømning, som med akseptabel sikkerhet kan sies å representere variasjonen i referanstilstanden. Det er dette ettersituasjonens effekt må måles mot.

Grunnvannsnivå for et gitt år er ikke bare avhengig av nedbør/grunnvannsmating for det aktuelle året, men også av grunnvannsnivåvariasjoner i de foregående år. Derfor kan en relativt høyt grunnvannsnivå opptre i et år med liten grunnvannsmating, f.eks. som i 1989. Midlere grunnvannsdannelse for 3- og 10-årsperioder viser effekten av variasjoner i påfølgende år. Gjennomsnittlig månedlig grunnvannsmating er vist for perioden 1957-1993 på **figur 13**. Månedlig grunnvannsmating i perioden viser at hoveddelen av matingen foregår i april, mai (50 %) og september, oktober og november (30 %). Grunnvannsmatingssimuleringene er ved modellering fordelt jevnt over året og tidsforskyvelse i umettet sone er ikke tatt hensyn til.

Hydrogeologiske simuleringer

Diskusjon av mulige endringer av grunnvannsforholdene er knyttet til følgende:

- Variasjon av grunnvannstrømning (fluks) gjennom kontrollsnitt både total og relativt. Dette gir en oversikt over ettersituasjonens effekt på naturlig fluks (vannbalanse) mot verneverdige resipienter i randsonen.

- Endring i grunnvannsbildet. Dette gir god oversikt over forandringer i grunnvannsnivå relativt til før-situasjonen. Endringene er vist som ikke sammenfallende grunnvannskoter.

- Grunnvannskotekart. Kartet gir et reelt bilde av grunnvannsnivået ved et gitt tidspunkt.

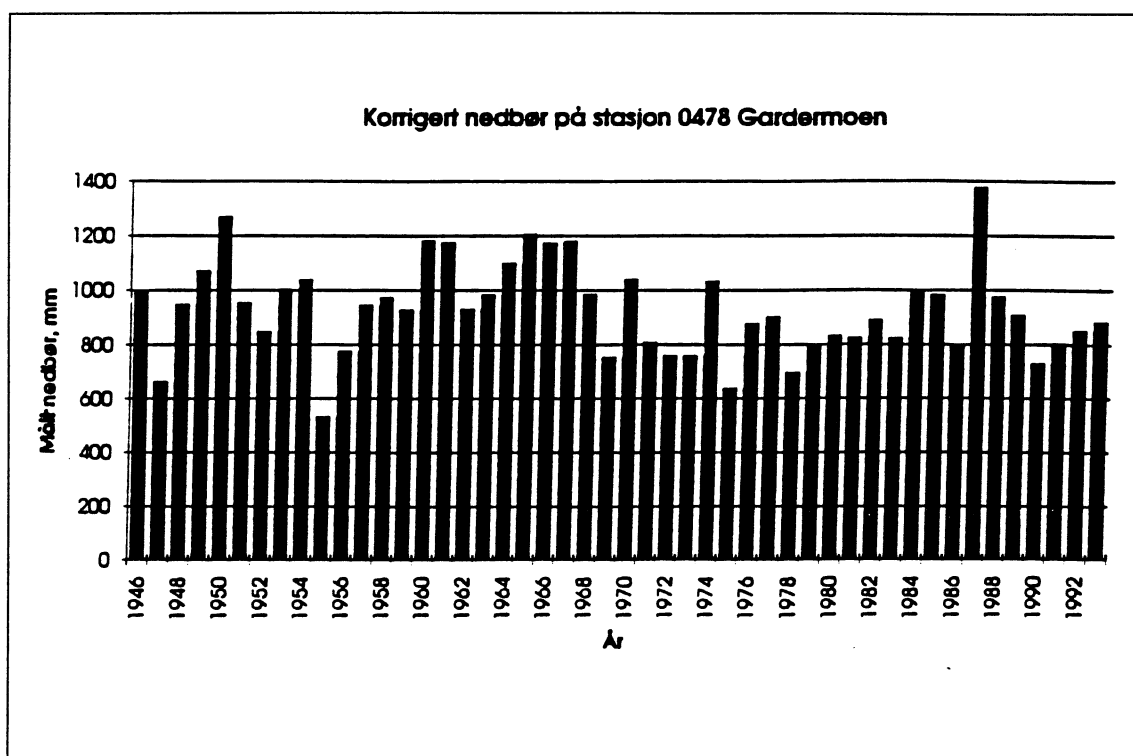
- Strømningslinjer. Kartet gir et reelt bilde av grunnvannets strømningsretning som oppstår under de gitte rammebetingelser.

Resultat av simulert før-situasjon

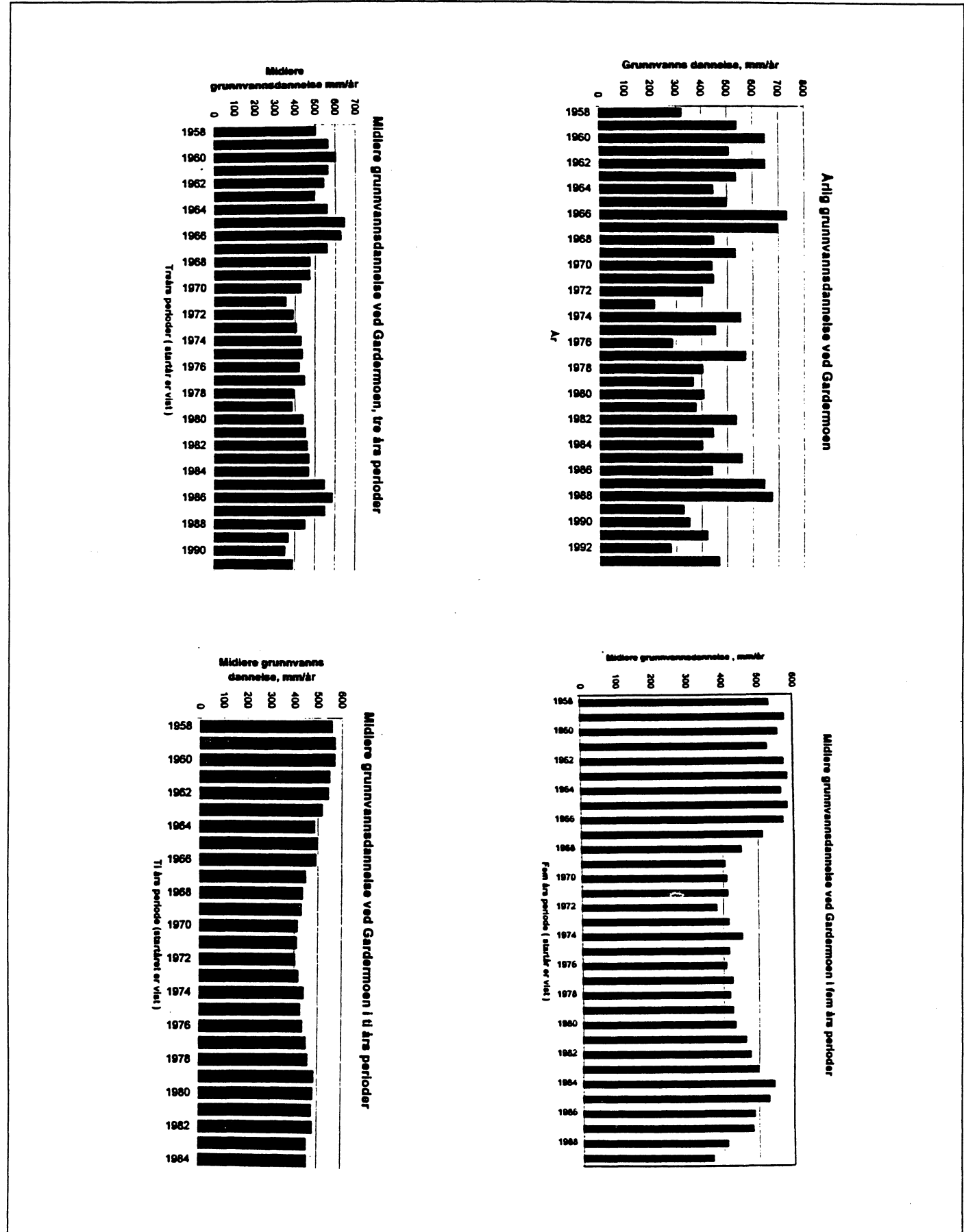
Referansesituasjonen (eksisterende flyplass) er vist gjennom simuleringene utført for årene 1981, 1988 og 1990. Simulert naturlig variasjon i grunnvannsnivå i utvalgte punkter for flyplassområdet i perioden 1981-1990 er gitt i **tabell 7**. Det fremgår at variasjonene i grunnvannsnivå er store, men ikke betydelige. Vannstrømmen i forskjellige snitt i grunnvannsforekomsten gitt som fluksindikatorparametre er vist i **tabell 8**. Grunnvannskotekart for 1981 er vist i **figur 14**. På figuren er det også lagt inn strømningslinjer.

Resultat av simulert ettersituasjon

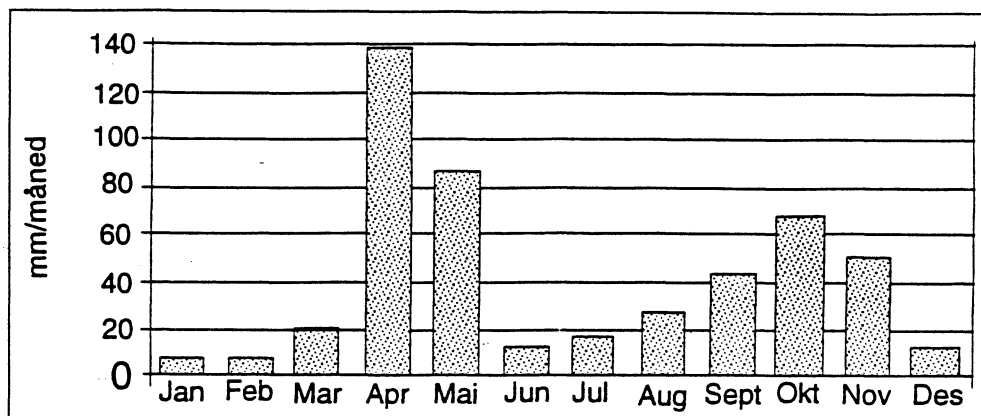
Grunnvannsnivå i kontrollpunktet for den simulerte ettersituasjonen fra 1997-2006 er vist i **tabell 9**. Resultatene viser at i kontrollpunkt K6 (**Figur 1**) og K4 (mot Vikka) blir grunnvannsnivået noe høyere enn for referanstilstanden, mens maksimal variasjon i grunnvannsamplitude reduseres.



Figur 11
Årsnedbør for Gardermoen i perioden 1946-1993 (SINTEF).



Figur 12
Beregnet grunnvannsdannelse på Gardermoen, perioder på 1, 3, 5 og 10 år (SINTEF).

**Figur 13**

Grunnvannsdannelse pr. måned i perioden 1957-1993. Gjennomsnittsverdier. (SINTEF).

Tabell 7. Simulert naturlig variasjon i grunnvannsnivå, 1981 til 1990. Verdien for grunnvannsnivå er gitt ved utgang av året.

Sted	Maks. gv.stand for perioden 1981-1990 (moh)	Min. gv.stand for perioden 1981-1990 (moh)	Maks. gv.stand variasjon, i perioden 1981-1990 (m)
Sentralt (K1)	199.5	197.9	1.6
Sentralt (K2)	198.4	196.6	1.8
Sentralt (K3)	196.7	195.0	1.7
Grytehullsjø (K7)	174.3	173.6	0.7
Øst flyplass (K5)	190.2	188.8	1.4
Vikka (K4)	186.1	184.9	1.2
Songna (K6)	196.2	194.8	1.4

Tabell 8. Vannstrøm til randsonene for den gamle flyplassen i perioden 1981- 1990. Verdien for vannstrøm er bestemt ved årets slutt.

Kontrollsnitt	Maks. fluks (l/s/km)	Min. fluks (l/s/km)	Variasjon i vannstrøm 1981-1990 (l/s/km)
Parallell C*	31.2	26.0	5.2
Parallell A*	16.0	12.6	3.4
Parallell B*	14.0	10.8	3.2

Tabell 9. Simulert naturlig variasjon i grunnvannsnivå, 1997-2006. Verdien for grunnvannsnivå er gitt ved utgang av året (SINTEF).

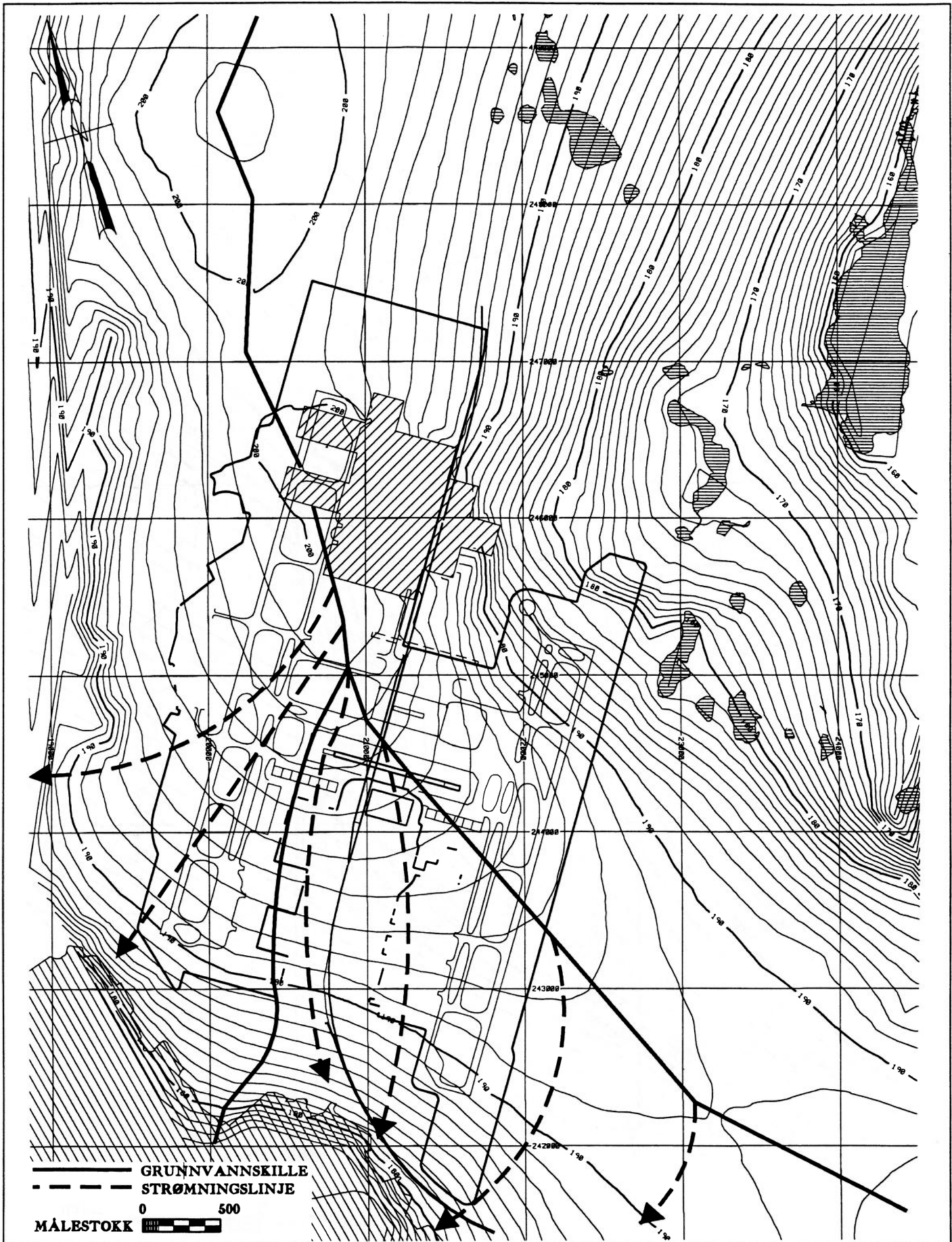
Sted	Maks. gv.stand for perioden 1997-2006 (moh)	Min. gv.stand for perioden 1997-2006 (moh)	Maks. gv.stand variasjon, i perioden 1997-2006 (m)
Grytehullsjø (K7)	175.0	174.6	0.4
Øst flyplass (K5)	189.0	188.3	0.7
Vikka (K4)	186.4	185.7	0.7
Songna (K6)	196.8	196.0	0.8

Tabell 10. Vannstrøm til randsonene for den nye flyplassen i perioden 1997-2006. Verdien for vannstrøm er bestemt ved årets slutt.

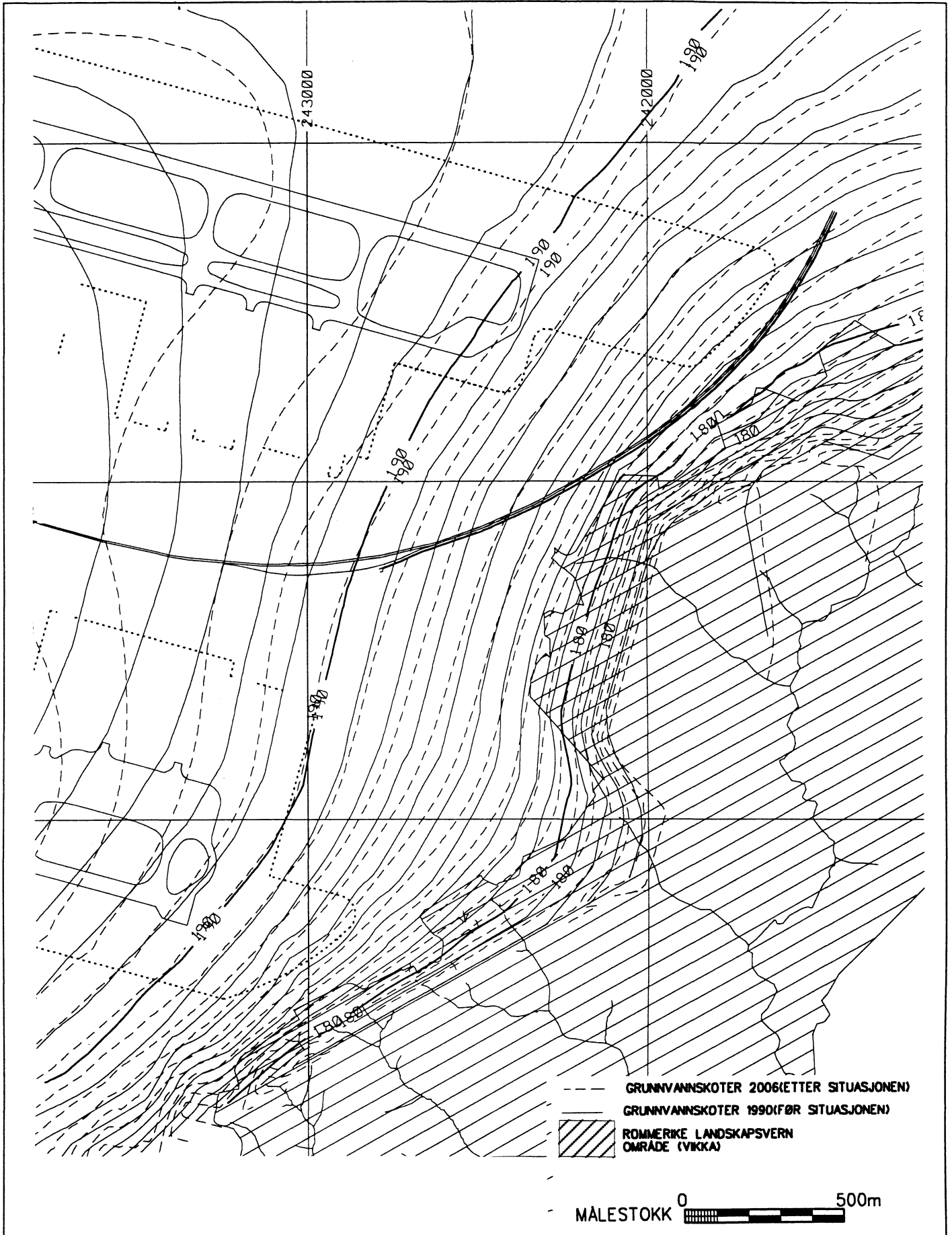
Kontrollsnitt	Maks. fluks (l/s/km)	Min. fluks (l/s/km)	Variasjon i vannstrøm 1997-2006 (l/s/km)
Parallell C*	30.7	25.9	4.8
Parallell A*	16.9	12.4	4.5
Parallell B*	16.0	11.7	4.3

Tabell 11. Vannstrøm gjennom kontrollsnitt i forhold til referansevannstrøm, i (%). Gjelder året 2006 og referanseåret 1990.

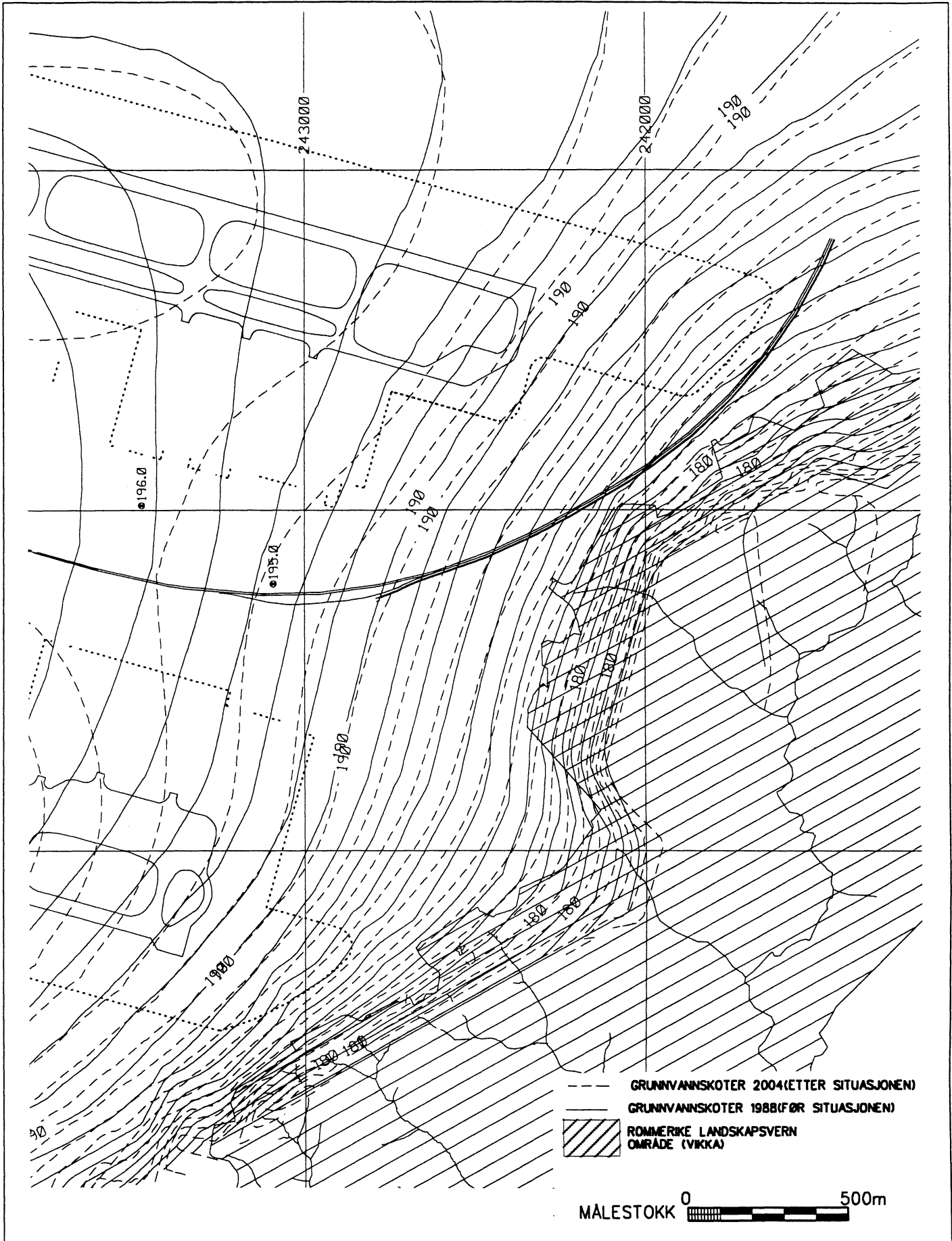
Simulering nr.	IIA	IIC1	IIB
Ny flyplass	96	99	111
Referanse	100	100	100



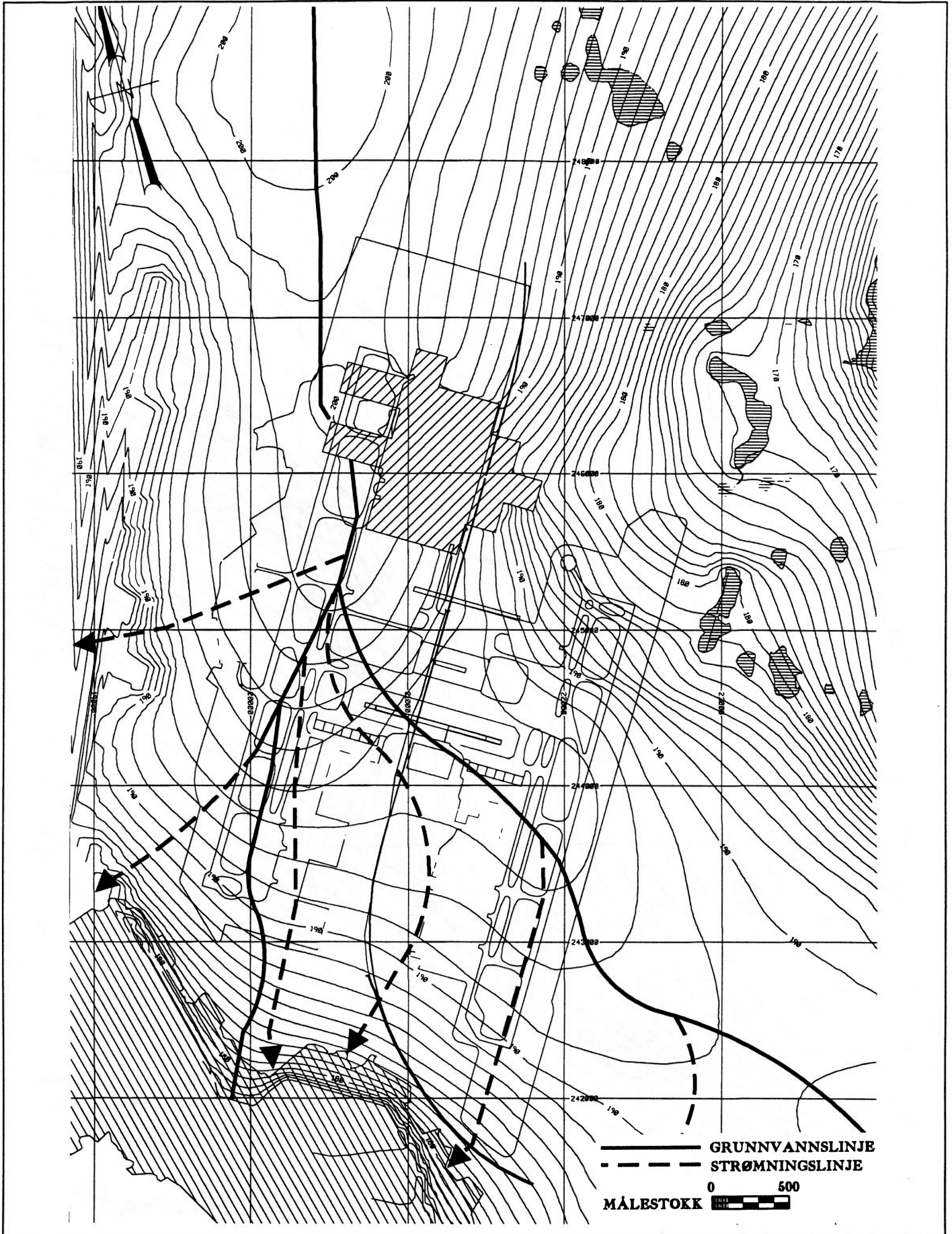
Figur 14
 Kotekart over grunnvannsnivå 1981 med strømningsnett, middels grunnvannsdanning.



Figur 15
Kotekart over grunnvannsnivå 1990/2006 med strømningsnett, lav grunnvannsdanning.



Figur 16
Kotekart over grunnvannsnivå 1988/2004 med strømningsnett, høy grunnvannsdanning.



Figur 17
Kotekart over grunnvannsnivå 1997 med strømningsnett, middels grunnvannsdanning.

Endringer i grunnvannsnivå gitt som samplottet kotekart, viser mindre avvik i forhold til referansetilstanden. Tilstanden i 2006 og 2004 er vist på **figur 15** og **16**. På **figur 17** er grunnvannsnivået i 1997 vist og det er også påtegnet strømningsnett.

Vannstrøm til randsone for den nye flyplassen er vist i **tabell 10**. Som det går frem av denne tabellen og **tabell 8**, er det små variasjonsendringer knyttet til fluksmålingene.

Simuleringene viser at det er mulig ut fra en gitt overvannsdrenering, å etablere en vannbalanse som både oppnår fluktuerende med det naturlige grunnvannsnivå og flukser mot randen som er tilsvarende den naturlige. Fluktuasjonen er ivarettatt ved at matingen følger direkte av nedbørshendelsene uten vesentlig tidsforskyvning.

I **tabell 11** har vi presentert vannstrøm gjennom kontrollsnitt (parallelle b og c, **figur 1**) i forhold til referansevannstrøm (100 % i 1990). Det er kun året 2006 som er presentert. For de aktuelle simuleringene er resultatet som følger:

-Fluksendringen mot flyplassranden er endret lite i forhold til førsituasjonen. Mot Vikka (dvs. mot parallelle c, **figur 1**), er endringene i størrelsesorden 1 %. Forholdet mellom referanse og simulert verdi kan endres gjennom simulert 10-årsperiode.

-Simuleringen basert på infiltrasjon av vann (15 l/s) mot vest gir en relativt god total vannbalanse. Dette viser at den totale håndtering av rent overvann har større innflytelse på vannbalansen og fluksen mot randen enn valg av infiltrasjonslinje for drenevannet, siden slik vannmengde er relativt begrenset.

4.2 Konsekvenser av endret grunnvannsstrømning

Endring i grunnvannsnivå vil antakelig medføre svingninger i vannføringen i de øverste kildene i ravinene. I det undersøkte ravineområdet innenfor Sognas nedslagsfelt, varierte vannføringen i de øverste kildene med en størrelsesorden av en tier potens, varierende fra 0,001 l/s til 0,04 l/s innenfor en kort måleperiode (4.4.1993 til 23.6.1993). Total vannføring i samme periode for begge typene av kilder lå i størrelsesorden 1,5-2,5 l/s. Vannbalansestudiet av det ovenfornevnte ravineområdet antyder at 30-40 % av ravinenes vannføring skjer fra de øverste kildene mens 60-70 % er fra de nedre kildene. I kortere tidsperioder med lavt grunnvannsnivå kan de nedre grunnvannskildene utgjøre 90-100 % av ravinens vannføring (**figur 18**) (Jensen, 1994). Forholdene i Vikka er ikke belagt med tilsvarende detaljstudier, men vi antar at de er sammenlignbare.

Det kvartærgeologiske kartet Gardermoen (Østmo, 1976), flybildestudier og noen få dager i felt, gir inntrykk av at ravineringen er mer intens i sideravinene til Sogna enn i Vikka.

Det er teoretisk mulig at noe av det vannet som blir infiltrert på overflaten av deltaet kan drenere direkte ut i ravinene langs et eller flere av de grove sandlagene. Det vil være fordelaktig å plassere infiltrasjon av overflatevann fra f.eks. rullebanene, et stykke fra deltafronten for å sikre at dette fenomenet ikke vil opptre, men at alt infiltrert vann transporteres et stykke før det når et høyt permeabelt

lag. Dette vil også øke distribusjonen av vannet i akviferen før det når ravinene. Basert på en skrålagsgradient på 10° og en ravinedybde på 60 m og mulig utbredelse av de enkelte grove sandlagene, bør derfor ikke infiltrasjon skje innen de første 400 meter av deltafronten. Ved vurdering av disse anslagene må det understrekes at usikkerheten er stor først og fremst på grunn av få observasjoner knyttet til deltastrukturen i disse delene av deltaet.

Grunnvannet kan altså foretrekke høypermeable lag eller kanaler, og variasjoner i grunnvannsnivået kan dermed føre til at grunnvannsstrømmen endrer seg. Selv om inngrepet i forbindelse med hovedflyplassen, målt som gjennomsnittsverdier i tid og rom, bare fører til endringer innenfor det naturlige variasjonsområdet, kan det ikke ses bort fra lokale forhold som kan påvirke erosjonsintensiteten i ravinene. Det er vanskelig å si noe konkret om sannsynligheten for dette. Det vil derfor være ønskelig å dokumentere hvordan grunnvannsstrømmen eventuelt endrer seg i detalj med oppsetting av flere trykkmålere langs ravinekanalen. I tillegg bør det foretas en jevnlig overvåking av aktiv erosjon i grunnvannsravinene. Dersom det viser seg at det oppstår erosjonsproblemer, kan det iverksettes tiltak for å hindre en videreutvikling av disse.

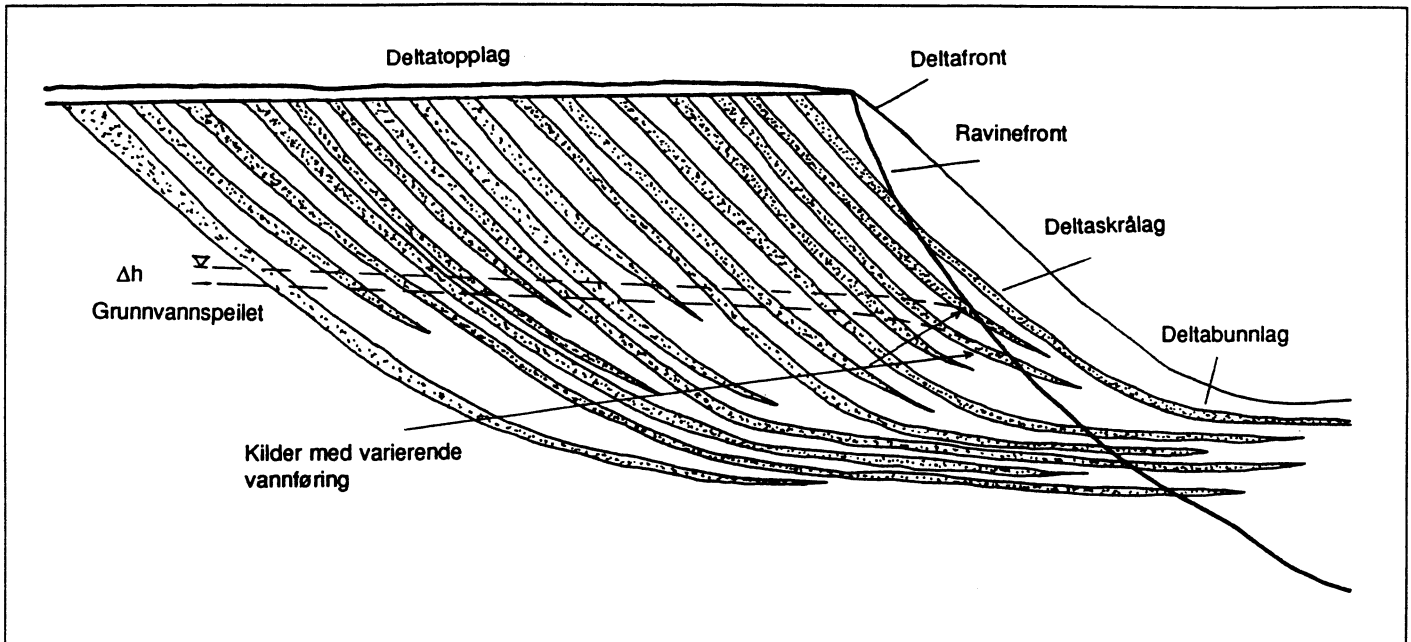
4.3 Utslipp av vann direkte ut i Sognas nedbørfelt

Det er planlagt å slippe overflatevann fra flyplassen direkte ut i sideraviner til Sogna. Breddfull vannføring i Sogna ved den nye målestasjonen (**figur 1**) er anslått til 2,7 m³/s. Den kritiske strømningshastigheten for bunntransport av sandfraksjonen i Sognas hovedløp ligger lavt. Det foregår en transport selv i tørre sommermåned hvor grunnvannsavrenningen dominerer avløpet. En økning av varigheten av høye vannføringer, vil derfor lett føre til en senkning av løpet. Sognas løp danner erosjonsbasis for Vikka. Senkningen vil dermed forårsake tilbakeskriddende erosjon i Vikkas nedbørfelt. Forløpet er skissert i **figur 19**.

Det bør foretas en detaljert planlegging av utslippet av overflatevann, både med hensyn til mengde og forløp av utslipp over tid. Det totale avløpet i Sogna bør ikke økes slik at det medfører betydelige endringer i sedimenttransportregimet. Videre bør også utslipp i flomvannsperioder unngås, slik at størrelsen på flommene ikke økes. Løpsstabiliteten i Sogna bør undersøkes nærmere for å fastlegge toleransen ovenfor økt varighet av høy vannføring. Slike undersøkelser vil bli gjennomført høsten 1994.

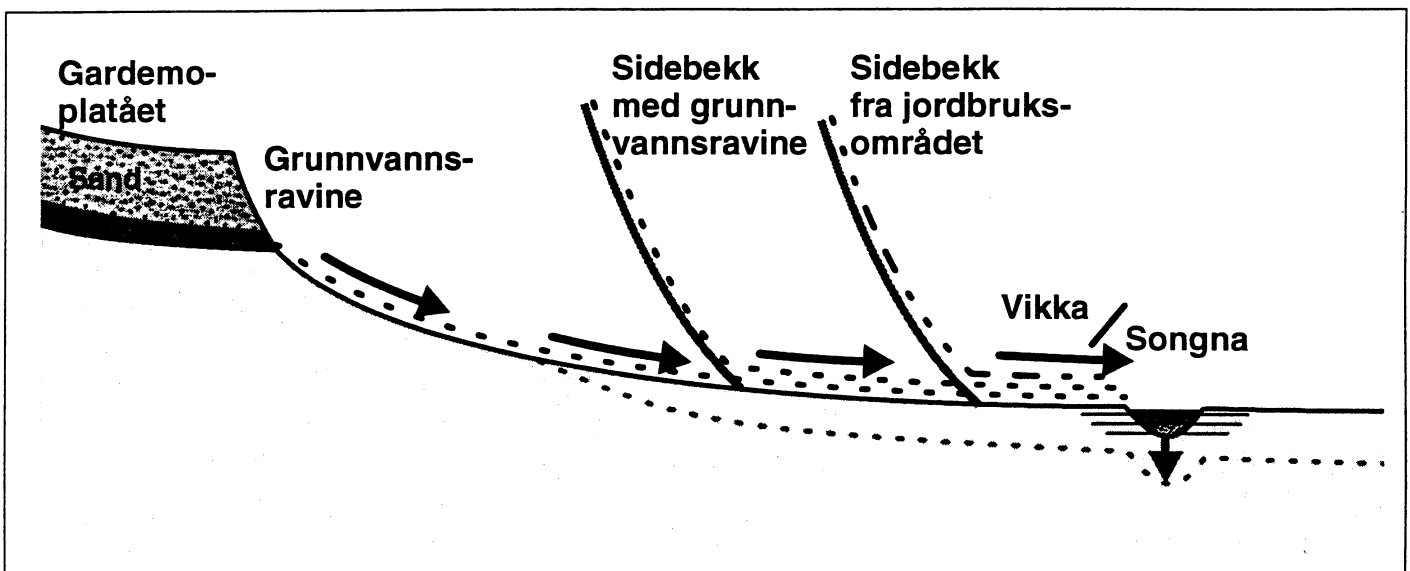
4.4 Endring i grunnvannsnivå - virkning på erosjon fra jordbruket

Erosjon på jordbruksarealene skyldes i hovedsak overflateavrenning. En endring i grunnvannsnivået under flyplassen vil ikke direkte påvirke andelen overflatevann og vil dermed ikke endre erosjonsforholdene. Dersom erosjonsforholdene ute i ravinene endres slik at ustabile forhold fører til undergraving og utrasing, kan dette eventuelt også føre til at jord raser ut i kanten på jordbruksareal. Dette skyldes ikke selve jordbruksdrifta, men forhold i ravinene. Forhold som påvirker erosjonen i ravinene kan på den måten føre til økt jordtap fra jordbruksarealene.



Figur 18

En prinsippkisse over forholdet mellom geologisk struktur, ravineerosjon og grunnvannsnivå. Figuren viser ravineerosjon inn i deltaskråningen. Ravinefronten har kontakt med flere sandige, høypermeable lag. To av disse øvre lagene vil ha varierende vannføring mens vannføringen i de nedre lagene stort sett vil være konstante. Δh betegner endring i grunnvannsnivå. Vertikal overdrivelse er ca. 5 ganger. Figuren er modifisert etter Jensen (1994) og Sønsterudbråten (in prep.).



Figur 19

Prinsippkisse av hvordan en senkning avløpet i Songna kan på virke erosjonsforløpet i Vikka.

Forutsetningen for uendret erosjon på jordbruksarealene er at det ikke blir endret overflateavrenning. Det er her gitt en oversikt over hvilke typer erosjon som kan forekomme og prøvd å dele inn arealet i ulike erosjonsrisikoklasser. 72 % av arealet regnes å ha liten og middels erosjonsrisiko for flate- og småfureerosjon. Gjennomsnittlig jordtap ved flaterosjon er beregnet til 210 kg/daa og år. Den største andel regnes å komme fra planeringsfelter der det ikke er gjennomført tilstrekkelige erosjonshindrende tiltak. Etter hvert som tiltak på jordbruksarealene og da særlig på de planerte arealene blir gjennomført, må en regne med at andelen av erosjon fra jordbruksarealene vil bli noe redusert. Med hensyn til Vikka som referanseområde og en vurdering av eventuelle endringer i erosjonen i

nedbørfeltet, er det viktig å ha en status for erosjonsomfanget fra jordbruksarealene. Fordelingen mellom jordbrukserosjon og naturlige erosjonskilder og framtidig utvikling bør også følges opp.

4.5 Forholdet til landskapsvernet

Formålet med Romerike Landskapsvernområde er i denne forbindelse å ta vare på det typiske ravinlandskapet med ulike ravinetyper, samt å sikre Vikka som vitenskapelig referanseområde.

I utgangspunktet tyder grunnvannsimuleringene på at grunnvann-

strømmen ut i ravinene ikke vil endres vesentlig. Forholdet til landskapsvernet skulle i så fall være uten problemer. Når det imidlertid ikke kan slås fast, er det pga. ulike usikkerhetsfaktorer sammen med at ravinesystemet er svært ustabil. Usikkerheten er knyttet til

- modellens manglende utsagnskraft mot kantene
- usikkerhet om de geologiske forhold langs deltakanten i Vikkas nedbørfelt
- usikkerhet om selve erosjonsprosessene

Videre er det mulig at de sedimentologiske forhold kan føre til at grunnvannstrømmen kan øke noe i visse områder.

Eventuelle problemer i landskapsvernområdet kan være av to typer:

- 1) Erosjonsskader knyttet til økt løps- og grunnvannserosjon
- 2) Påvirkning av Vikkas referanseverdi

Angående det første punktet er mulighetene tilstede for økt erosjonsintensitet i alle fall lokalt, noe som vil være uheldig både for verneområdet, men også for anlegg og jordbruksland omkring. Det må her understrekes at erosjonshindrende tiltak ikke uten videre er

positive sett ut fra formålet med vernet. Formålet forutsetter at prosessen skal gå tilnærmet urørt, noe som igjen forutsetter aktiv ravineerosjon. Økt intensitet i denne erosjonen vil imidlertid utløse krav om avbøtende tiltak som på sin side vil være i strid med eller uheldige, sett i lys av verneformålet. Det er derfor viktig å oppdage en slik situasjon så tidlig som mulig, før drastiske tekniske løsninger blir nødvendige. Angående det andre punktet, kan også en minking av erosjonen som følge av grunnvannsmanipuleringer påvirke feltets referanseverdi.

Det bør også rettes oppmerksomhet mot planene om å slippe vann direkte ut i Sogna (se kapittel 4.3).

Det kan imidlertid ikke forventes at feltet er, og forblir, helt urørt. Et slikt krav vil trolig medføre at det ikke kunne etableres noe slikt referanseområde av denne størrelsen og diversitet i hele landet. Vikka er da også berørt av en rekke inngrep både i forbindelse med jordbruk (bakkeplanering), såvel som ved inngrep inne på delta-sletten. Det vesentlige vil være å unngå drastiske endringer i de naturlige systemene, samt å følge de endringene som oppstår som følge av flyplassutbyggingen, slik at virkningen av disse inngrepene er kjent.

5 Konklusjoner / anbefalinger

5.1 Erosjon

Ravineområdet sørvest for flyplassen er generelt karakterisert som et ustabil område med aktiv landskapsutvikling særlig knyttet til ravineerosjon. Romerike landskapsvernområde har stor referanseverdi knyttet til disse aktive prosessene. En vesentlig endring av disse som følge av flyplassanlegget både i form av økt og minsket erosjonsintensitet, vil påvirke områdets referanseverdi.

Erosjonen i ravinene foregår bl.a. som løpserosjon og grunnvannserosjon. Den vertikale løpserosjonen foregår når løpet har brattere fall enn likevektsprofilen (**Figur 5** og **6**). Hovedløpet i Vikka ligger nær likevektsprofilen, mens sideravinene har betydelig brattere fall. Disse sideravinene har et typisk V-profil. Massebevegelse i form av skred og utglidninger, samt jordsig, utgjør en viktig prosess i disse områdene. I Vikka er jordsiget i bratte skrånninger målt til 1-2 cm pr. år i overflaten, jevnt avtagende til 0 ved ca. 1 meters dybde.

I en typisk V-formet skredravine (Slemdalsbekken) er erosjonsintensiteten målt til 1131 tonn/km² i året. I hovedløpet i Vikka er det målt til 141 tonn/km² i året (perioden 1989-93). Vikkas erosjonsbasis er Sognas løp. Det betyr at Vikka er følsom for endringer i Sognas løp.

Grunnvannsravinene inn mot Gardermosletta er svært viktige. I en årlig middelflom utgjør bidraget fra grunnvannet ca. 30 % ved målestasjonen i Vikka. I sideravinene mot nordøst vil denne andelen øke. Den tilbakeskridene erosjonen i slike raviner kan skje svært raskt. Ved lokalitet 1 (**figur 1**) har en slik ravine rykket tilbake ca. 30 m de siste to årene. Et vesentlig bidrag til minsket stabilitet i disse ravinene vil være om grunnvannsnivået får en brattere gradient ut mot ravinene enn før. Selve erosjonsprosessen er ikke så godt forstått at det er mulig å forutsi effekten av mindre endringer av intensiteten i grunnvannsstrømmen ut mot ravinene.

Grunnvannsravinene har også stor betydning ved at de tilfører sand til bekkene som legger seg som et beskyttende lag på bunnen. Dette har betydning for løpsstabiliteten i ravinesystemet.

Erosjon på jordbruksareal er også en betydelig erosjonsfaktor i området. Under gitte forhold vil den kunne dominere over den naturlige erosjonen. Det er imidlertid avhengig av driftsform som graden av høstpløying. Erosjonsrisikoen øker på bakkeplanerte felt, særlig der utforming av avløpssystemene er mangelfull. I Vikkas nedbørfelt er det planert 550-600 daa. Dette er omlag 1/3 av jordbruksarealet. 15 % av planeringsarealet er klassifisert med svært stor erosjonsrisiko. Det er gjennomført tiltak mot erosjon på 60-70 % av det planerte arealet, mens det mangler tiltak på en del arealer med til dels svært stor erosjonsfare.

Det er viktig å være klar over den store naturlige variasjonen i erosjonsintensiteten. Ekstreme forhold kan oppstå under spesielle værforhold både på dyrket mark og på ubehandlede overflater.

5.2 Virkninger av endringer i grunnvannsnivå

Simuleringer kan tyde på at både årstids- og årsvariasjoner i grunnvannstrømmen kan bli opprettholdt. Mengden grunnvann som drenerer mot vest og sør kan ved alternative løsninger øke noe. En modellsimulering angir en endring mot vest (dvs. beregnet mot parallell b, **figur 1**) i størrelsesorden 11 %. Mot syd og Vikka (dvs. beregnet mot parallell c, **figur 1**) gir denne modellsimuleringen en endring på 1 %. Det må understrekes at dette er resultater fra modellsimuleringer der resultatet kan endres ved å endre forutsetningene i modellen. Det er trolig at prosessene i landskapsvernområdet ikke vil endres vesentlig grunnet endringer i grunnvannsnivå og fluks. Det bør imidlertid gjøres nærmere vurderinger av langtidsvirkninger og plassering av infiltrasjonsområder i denne sammenheng. Selv små og også lokale endringer i erosjonsintensiteten kunne få markerte følger i et så ustabil område, noe som er godt demonstrert ved pågående erosjon foran dagens rullebane.

Det er mulig at infiltrert overflatevann kan få foretrukne strømningsveier i spesielle permeable lag, men sansynligheten for dette minsker med økende avstand fra deltakanten.

En forutsetning for å opprettholde eksisterende fluksvariasjon mot ravinene i syd og vest er etablering av et overvåkings- og styringsystem for kontroll og manipulering av overvann. Dessuten bør erosjonsbildet i landskapsvernområdet følges nøye slik at flyplassens påvirkning kan forstås og referanseverdien opprettholdes. Dette bør ses i sammenheng med undersøkelser som allerede er satt igang i området.

5.3 Overflatevann ut i Sogna

Eventuelle store utslipp vil føre til forlengede perioder med høy vannføring. Eventuelle erosjonsproblemer vil kunne forplante seg opp i Sognas sideraviner. Siden Sogna er erosjonsbasis for Vikka, vil også Vikkas nedbørfelt berøres. Utslipp må være tilpasset Sognas løpsstabilitet. Løpsstabiliteten må undersøkes nærmere for å fastlegge toleransen ovenfor økt varighet av høy vannføring. Slike undersøkelser vil bli gjennomført høsten 1994.

5.4 Generell usikkerhet, behov for oppfølging

Den generelle usikkerheten som er tilstede, gjelder en stor bredde av faktorer som styrer utviklingen i ravinene. Både i forhold til flyplassutbyggingen såvel som i forhold til jordbruket og forvaltningen av Romerike landskapsvernområde, anbefales en felles innsats for å øke kunnskapsnivået på dette feltet. Dette vil sikre referanseverdien i landskapsvernområdet samtidig som man i fremtiden kan dokumentere årsaken til eventuelle problemer, og angi hvordan disse kan løses.

6 Referanser

- Bjerrum, L. 1971. Kvikkleireskred. Et studium av årsaksforhold og forbygningsmuligheter. NGI-publikasjon nr. 89.
- Bogen, J. 1986. Erosjonsprosesser og sedimenttransport i norske vassdrag. Utredning av forvaltningsansvar, faglig status og forskningsbehov. Norges Hydrologiske Komite (NHK) rapport nr. 20. 109s.
- Bogen, J. og Sandersen, F. 1991. Sedimentkilder, erosjonsprosesser og sedimenttransport i Leira-vassdraget på Romerike. NVE publikasjon nr. 20. 126 s.
- Bogen, J., Berg, H. & Sandersen, F. 1993. Forurensning som følge av leirerosjon og betydningen av erosjonsforebyggende tiltak. Sluttrapport. NVE publikasjon nr. 21 1993. 86 s.
- Erikstad, L. 1992. Recent changes in the landscape of the marine clays, Østfold, southeast Norway. *Norsk geogr. Tidsskr.* 46: 19-28.
- Erikstad, L. & Halvorsen, G. 1992. Områder med nasjonal og internasjonalt naturverdi ved Hauersettertrinet, Akershus fylke. - NINA oppdragsmelding 136: 1-28.
- Eggstad, H. O. 1992. Tiltak mot jorderosjon og avrenningstap av fosfor og nitrogen fra jordbruksarealer. En gjennomgang av metode basert på den universelle jordtapsligningen med tilpasing til norske forhold. JORDFORSK, Ås.
- Hafsten, U. 1956. Pollen-Analytic Investigations on the Late Quaternary Development in the Inner Oslofjord Area. *Univ. Bergen Årb.* 1956, naturv. R. 8, 163 pp.
- Holmsen, G. 1963. Erfaringer om jordskade og vassdragsreguleringer. *Norges geologiske undersøkelse* nr. 218.
- Holmsen, G. 1954. Oppland, beskrivelse til kvartærgeologisk landgeneralkart. *Nor. geol. unders.*, 187, 65 s.
- Holtedah, O. 1924. Studier over isrand-terrassene syd for de store østlandske sjøer. *Vid. selsk. Skr. I. Mat.-naturv. Kl.* 14, 110 pp.
- Jensen, A. 1994. Vannbalansen i to små nedbørfelt på Gardermoen, med spesiell vekt på kildeutstrømning. Unpublished McS. thesis, University of Oslo, 109 pp.
- Jørgensen, P. og Østmo, S.R. 1990. Hydrogeology in the Romerike area, southern Norway. *Nor. geol. unders. Bull.* 418, 19-26.
- Korbøl, B. 1975. En undersøkelse omkring utrasninger og erosjon i senkede vann og innsjøer i Norge. *Norges Geotekniske Institutt, rapp.* 53601-1. 119s.
- Longva, O. 1987. Ullensaker 1915 II. Description of Quaternary geological map (scale 1:50,000). *Nor. geol. unders. Skr.* 76, 1-39.
- Lundekvam, H. 1990. Open åker og erosjonsproblem. Foredrag ved konferansen om landbrukspolitikk og miljøforvaltning i Drammen 30.-31. jan. 1990. 30 s.
- Lundekvam, H. 1993a. Jorderosjon-jordarbeiding. Foredrag ved seminar om redusert jordarbeiding, Leangkollen, Asker, 15-16 januar 1992. 26 s.
- Lundekvam, H. 1993 b. Utrekning av erosjon. Grunnlag, vurdering-arjusteringar. Foredrag ved avslutningsseminar for prosjekt JORDDATA, Olavsgaard hotel, Skedsmo, 14.juni 1993. 9s.
- Lundekvam, H. 1993c. Resultat fre nyare forsøk med erosjon. Foredrag ved konferanse om jordarbeiding og erosjon, Quality Park Hotel, Kolbotn, 17-18 september 1992. 18s.
- Lønne, I. (in press). Sedimentary facies and depositional architecture of ice-contact glaciomarine systems. In S.K. Chough and G.J. Orton (eds.): *Fan deltas: Depositional styles and controls. Sedimentary Geology, special issue.*
- Nemec, W. 1990. Aspects of sediment movement on steep delta slopes. In Colella, A. and Prioro, D.B. (eds.): *Coarse-grained deltas. Spec. Publ. int. Ass. Sediment.* 10, 29-73.
- NIJOS, 1994a. Jordsmonnskart CR051- Midtskogen. M 1:5000.
- NIJOS, 1994 b. Erosjonsrisikokart ved høstpløying. Cr051.M1:10000.
- Rognerud, B. et al. 1989. Handlingsplan mot landbruksforurensning. Informasjonskampanje. Utprøving av tiltak mot arealavrenning. Rapport nr.1, GEFO, Ås, 107 s.
- SINTEF 1994a. Beskrivelse av modellen SINBAD. STF60 A94009.
- SINTEF 1994b. Kalibrering for korttids- og døgnsimulering. STF60 A94011.
- SINTEF 1994c. Vannbalanseberegninger for Gardermoen - Grunnvann. SFT69 F94007.
- Sønsterudbråten, S. in prep. Et hydrogeologisk studie av de distale deler av Trandum-deltaet. Unpublished McS. thesis, University of Oslo.
- Sørensen, R. 1979. Late Weichselian deglaciation in the Oslofjord area, south Norway, *Boreas* 8. 241-246.
- Sørensen, R. 1982. Preboreal-Boreal Isavsmelting i Sørøst Norge. *NORDQUA-ekskursjon* 1982. Turbeskrivelse. Rapport 17, 74 pp. Dept. of Geology, Norwegian Agricultural University, Ås.
- Tuttle, K. J. 1990. A Sedimentological, Stratigraphical and Geomorphological Investigation of the Hauerseier Delta and A Hydrogeological Study of the Westerly Øvre Romerike Aquifer. Unpublished thesis, University of Oslo, 147 pp.
- Tuttle, K. J. og Aagaard, P. 1994a. Sedimentological investigation of depositional processes and geological structures within the "Research Traverse" of the Trandum Delta. Depositional environment of an ice-contact delta. The environment of the subsurface, The Gardermoen Project. Report Series B, No. 1, Institutt for geologi, Universitetet i Oslo.
- Tuttle, K. J. og Aagaard, P. 1994b. A process-based depositional simulation of the coarse-grained Gardermoen Delta, Norway. Geological model for groundwater flow and contaminant transport simulations. The environment of the subsurface. The Gardermoen Project. Report Series B, No. 3, Institutt for geologi, Universitetet i Oslo.
- Tuttle, K. J., Pedersen, T. S., Sønsterudbråten, S., Overeem, I. og Aagaard, P. 1994. A 2-D geological and hydrogeological geometric model of the "Research Traverse" of the Trandum Delta. Delta structure, sediment distribution and hydrostratigraphy. The environment of the subsurface, The Gardermoen Project. Report Series B, No. 2, Institutt for geologi, Universitetet i Oslo.
- Wishmeier, W. H. & Smith, D. D. 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. US. Dep. of Agric. handbook. nr 537.
- Østmo, S.R. 1976. GARDERMOEN, Quaternary map, C QR 051052-20, M 1:20 000, Norwegian Geological Survey.
- Øygarden, L. 1994. Soil tillage and erosion in small catchments. In: *Proceedings of 13th ISTRO conference: Soil tillage for crop production and protection of the environment*, Aalborg, Denmark, July 24-29 1994, p 263-269.

308

nina
oppdrags-
melding

ISSN 0802-4103
ISBN 82-426-0515-7

Norsk institutt for
naturforskning
Tungasletta 2
7005 Trondheim
Tel. 73 58 05 00