

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING

Blindern

O - 131/76

VIRKNING AV OLJEFORURENSNING I GRUNNEN

Blindern, 14. november 1977

Saksbehandler Hans Kristiansen
Medarbeider Morten Laake

Instututtsjef Kjell Baalsrud

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side:
FORORD	4
HYDROGEOLOGI	5
UMETTET SONE	5
Rotsonen	7
Intermediærsonen	7
Kapillarsonen	8
METTET SONE	9
Typer av grunnvannsmagasin	9
Variasjoner i grunnvannsspeil og trykknivå	10
Strømning i umettet sone	10
STRØMNING I METTET SONE	13
OLJEUTSLIPP	15
STRØMNING AV OLJE I JORDEN	15
OLJE I GRUNNEN	21
OLJE I GRUNNVANNET	22
STANSNING AV OLJESTRØM	26
OPPRENSKING ETTER OLJEUTSLIPP	28
OLJE PÅ OVERFLATEN	28
OLJE I GRUNNEN	28
Biologisk opprensning	29
Utgraving av oljeforurensset jord	29
Behandling av oljemettet jord	30
Rensing med emulgeringsmidler	31
RENSEMETODER FOR GRUNNVANN	32
Øyeblikkelig aksjon	32
Undersøkelse av oljeforurensningens utbredelse	34
SAMMENSETNING AV OLJEPRODUKTER	36
OLJEPRODUKTERS LØSELIGHETSFORHOLD	41
RISIKO FOR HELSESKADER	42
Rene hydrokarboner	42
Blandinger av hydrokarboner	42

OLJEFORURENSET DRIKKEVANN	43
Lukt og smak	46
Kvalitetskrav til drikkevann	47
RENSING AV OLJEFORURENSET DRIKKEVANN	48
GJELDENDE BESTEMMELSER OM VANNFORURENSNING	50
LITTERATUR	52

FIGURFORTEGNELSE

Fig. 1	Jordprofil med fordeling av vannet i grunnen	6
Fig. 2.	Eksempel på avtagende infiltrasjonsintensitet med tida i tre ulike jordarter	10
Fig. 3.	Jordprofil med inntegnede vannstrømmer	13
Fig. 4.	Jordprofil med innskutte tette lag (hengende grunnvann)	12
Fig. 5.	Kartskisse over grunnvannsnivå hvor strømretningen er angitt med piler	14
Fig. 6.	Eksempler på oljens nedtrengning i porøs jordbunn	17
Fig. 7.	Transport av olje med grunnvannsstrøm	18
Fig. 8.	Rørledningen Marseille - Karlsruhe Oljens fordeling i jorden	20
Fig. 9.	Oljens bevegelse og kontakt med grunnvannet i en porøs profil	24
Fig.10.	Grøft for stansing av oljestrøm i sandjord	27
Fig.11.	Grøft og spuntvegg i leirjord	27
Fig.12.	Spuntvegg i gröft	27
Fig.13.	Oppsamling av olje i grunnen	33
Fig.14.	Hydrokarboners løselighet i vann	40

TABELLFORTEGNELSE

1.	Spredningsavstander	25
2.	Elementæranalyse av råolje i vekt %	36
3.	Analyse av endel råoljer	37
4.	Oljekomponenter fra forskjellige råoljer og endel karakteristiske data	38
5.	Oljeprodukters oppløselighet i vann, mg/l	41
6.	Resultater av smak- og luktprøver fra forskjellige oljeprodukter i oppløsning 1:1.000.000 ved 18°C	45
7.	Luktgrenser for oljeprodukter i vann	47

MIKROBIELL NEDBRYTNING AV OLJE OG OLJEKOMPONENTER

	Side
1. NEDBRYTNINGSVEIER	55
1.1 Alifatiske hydrokarboner	55
1.2 Aromatiske hydrokarboner	58
2. NEDBRYTNINGSHASTIGHET	62
2.1 Hydrokarbonsammensetning	62
2.2 Mikrobefunn	62
2.3 Temperatur	63
2.4 Næringssalter	64
2.5 Naturlig nedbrytningshastighet	64
2.6 Vannoppløselighet	64
3. LITTERATUR	66

FORORD

Norsk institutt for vannforskning (NIVA) fikk i brev av 18. oktober 1976 fra Statens Vegvesen ved Veglaboratoriet en forespørsel om å foreta en litteraturundersøkelse vedrørende oljeforurensning av grunnvann.

Det er i den senere tid blitt mer og mer alminnelig å utnytte grunnvannet som kilde for drikkevannsforsyning. Å beskytte grunnvannet mot forurensning er derfor blitt stadig mer aktuelt.

Fra veitrafikken gjelder det bl.a. å beskytte grunnvannet mot akuttforurensning som følge av tankbilvelt.

Opplegg for undersøkelsen ble gitt i vårt brev av 30. november 1976, og godtatt i brev av 15. desember 1976. Opplegget ble senere diskutert på møte den 18. januar 1977. På møtet kom frem at sikringsmetoder og beredskap delvis var utredet eller under utredning. NIVA's arbeid skulle derfor konsentrere seg mest om hva man vet om vannets bevegelse i grunnen, hvordan en oljeforurensning beveger seg i grunnen og hvordan den sprer seg med grunnvannet; videre om grunnens selvrensningsevne og hvilke muligheter man har til å renske opp etter et oljeutslipp.

Norconsult A/S har på oppdrag fra Akershus Vegvesen, datert februar 1976, utarbeidet en rapport om oljeforurensning i jord og grunnvann. Denne har vært noe av bakgrunns materialet for undersøkelsen.

Avsnittet om biokjemisk nedbryting av oljeprodukter i naturen er utarbeidet av siv.ing. Morten Laake.

Blindern, 7/11-1977

Hans Kristiansen

HYDROGEOLOGI

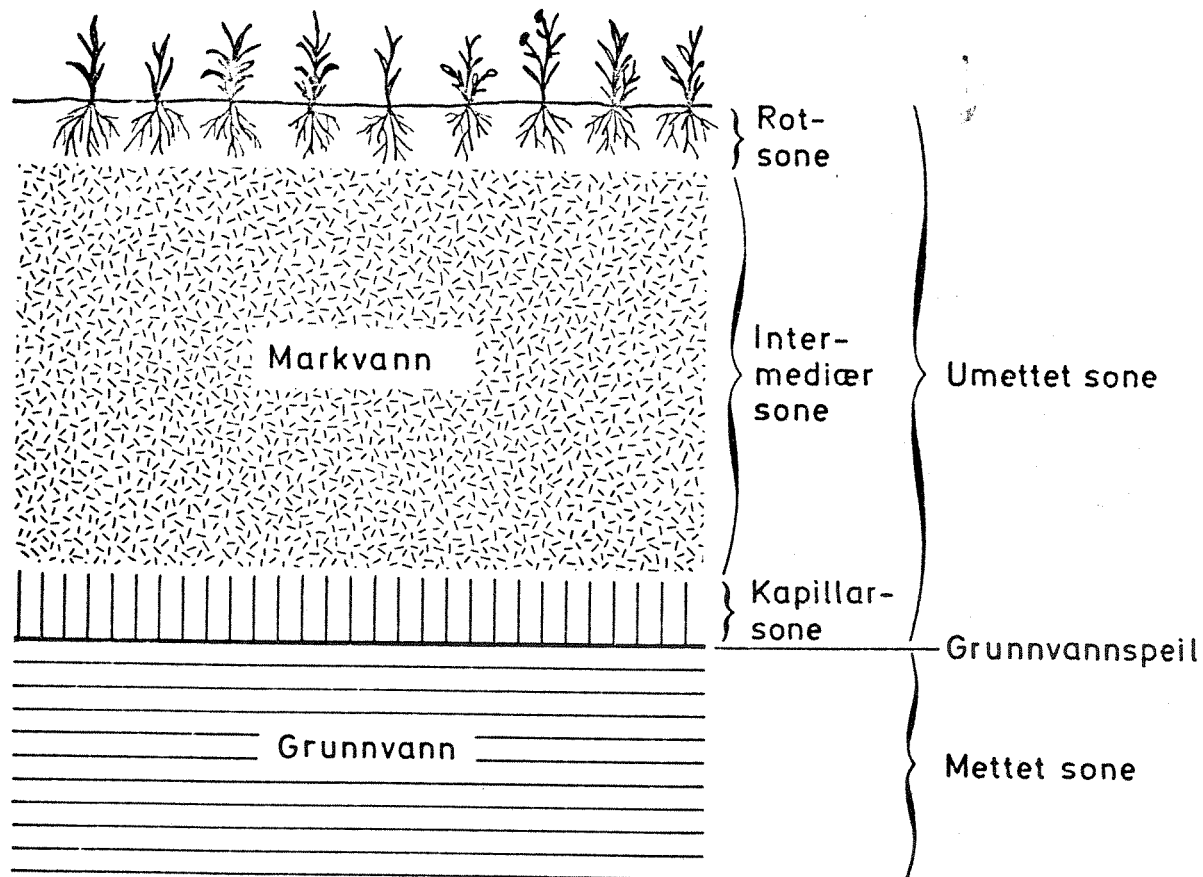
Vannet på jordoverflaten trenger ned i grunnen og fyller opp hulrom i løsmasser og sprekker i fjell så langt ned det kan komme. Dette gjør at fra et bestemt nivå vil alle sprekker og hulrom være fylt med vann.

Vannet i porene er underlagt krefter av forskjellig art og opprinnelse Hygroskopisk vann er den del av jordvannet som adsorberes til partiklene fra luftens fuktighet. Det danner tynne hinner på partikkeloverflaten. Vannet er så sterkt adsorbent at det er utilgjengelig for plantene. Kapillarvannet opptrer også som sammenhengende hinner rundt jordpartiklene. Vannet holdes fast av overflatespenningen og kan beveges under påvirkning av de kapillære krefter. Det er tilgjengelig for plantene. Den overskytende del av vannet er løsere bundet til jordpartiklene og kan beveges av tyngdekraften. Det kalles derfor gravitasjonsvann. Den vannmengde en gitt grunn inneholder, er betinget av dens porøsitet, som igjen er avhengig av kornstørrelsen. Jo mindre kornstørrelse, desto større spesifikk overflate, og jo større vanninnhold. Innholdet av organiske stoffer i grunnen øker også vanninnholdet.

Porøsiteten eller vanninnholdet sier imidlertid ikke noe om grunnens permeabilitet, som er et mål for dens evne til å la vannet passere. Porøsitetens størrelse varierer for jord- og bergarter innenfor vide grenser, avhengig av kornstørrelse, kornform og grunnens tekstur. Torv- og dynlag har en porøsitet på 80-90 volumprosent, leire 40-60 volumprosent, finsand, sand og grus 20-45 volumprosent, sandstein og kalkstein 15-25 volumprosent, mens for bergarter som skifer og granitt er porøsiteten mellom 1 og 10 volumprosent.

Ikke alt vannet under bakken er grunnvann. Dette finnes bare under grunnvannsspeilet der alle porene er helt fylt med vann og jordlaget er mettet. Over grunnvannsspeilet kommer det også luft til, jordlaget blir umettet og vannet får betegnelsen markvann.

Fig.1 Jordprofil med fordeling av vannet i grunnen



UMETTET SONE

Rotsonen

De to soner kan ytterligere inndeles i soner. Vannet i den umettede sone kalles markvann og luften i denne sonen jordlyft. Det er altså både jordluft og jordvann i denne sonen. Øverst er rotsonen. Denne går så dypt ned som vegetasjonens rotsystem rekker. Tykkelsen varierer med jordbunnstype og vegetasjon. Vanninnholdet i denne sone viser store sesongmessige variasjoner.

Intermediærsonen

Mellom rotsonen og grunnvannet er den intermediære sone. Gjennom denne sonen vil overskuddet av vannet i rotsonen sige ved infiltrasjon ned til grunnvannet. På den annen side kan man når fordampningen er stor, på overflaten få en transport av vann fra grunnvannet og opp mot rotsonen. Det vannet som på denne måten sirkulerer mellom grunnvannet og overflaten, kalles vadøst vann.

Hastigheten som vannet infiltrerer ned i grunnen med, vil variere fra sted til sted, og på samme sted vil den også variere med tiden. Det er derfor vanskelig å angi strømningshastigheter for vannet gjennom ulike jordslag. En rekke forskjellige formler er utviklet for beregning av infiltrasjonens størrelse, men det er en vanlig erfaring hos de fleste forfattere at man når det beste resultat ved direkte observasjon i felt. Konstantene i de uttrykkene man er kommet frem til er også empiriske.

Som eksempel på infiltrasjonskapasiteter i vann på noen ulike jordarter kan angis:

Dyp sandjord, leire med god struktur 7 - 11 mm/time.

Grunn sandjord, slamholdig jord 4 - 7 mm/time.

Leirholdige jordarter 1,2 - 7 mm/time.

Leirjord, kolloide jordarter 0 - 1,2 mm/time.

I Danmark (1) er det nylig utført målinger i hedesletteland og -grus som har vist at vannet trenger ned i grunnen med en hastighet av 2,8 - 3,5 mm/time.

Dersom det er 25 m ned til grunnvannet, vil det ta ca. 1 år for et "bestemt" nedbør å nå ned til grunnvannet og dermed forårsake en heving av grunnvannsnivået. Men denne hevingen betyr ikke at nedbøren når grunnvannet et år etter at den falt. Isotopundersøkelser av porevannet i forskjellige dybder har imidlertid vist at en vannpartikkel i lag av forholdsvis grov sand og grus med et vanninnhold på ca. 10 volumprosent beveger seg nedover med en hastighet på ca. 4-5 meter pr. år. I leirlag med større vanninnhold og mindre permeabilitet, vil hastigheten bli vesentlig lavere. Lag av leire vil dermed kunne stenge for nedsigningen av vannet i grunnen. Nedbøren fra et større leirområde kan derfor bli demmet opp og ledet bort gjennom et lokalt sandlag. Dette vil føre til at nedsivingshastigheten blir betydelig større.

Over tette lag i grunnen, som f.eks. leirlag, danner det seg soner hvor alle porer i grunnen er mettet med vann. Slike lokale grunnvannsforekomster kalles hengende grunnvann. Under det tette lag vil man igjen ha en umettet sone.

Kapillarsonen

Mellom den mettede og umettede sone er kapillarsonen. Her er det kapillarkreftene som virker på vannet og trekker det opp i den intermediære sone. Sonen strekker seg så høyt som kapillarkreftene er i stand til å løfte vannet mot tyngdekraften. Jo finere porene er, desto høyere vil den kapillære stighøyde være. I grove sand- og gruslag er kapillarsonen få centimeter; i mer finkornede sandlag kan den bli noen desimeter og i lag av leire flere meter.

I kapillarsonens nederste del er alle porer fylt med vann. Nå vil grunnen inneholde porer av forskjellig diameter i samme nivå, og dermed vil kapillarkreftene være forskjellige. Det gjør at vannet blir trukket opp til forskjellig høyde. Den øverste delen av kapillarsonen vil derfor bare være delvis mettet med vann. Dette forårsaker at kapillarsonens øvre grense mot den umettede sone er ujevn. I avsetninger av homogent og ensartet materiale vil kapillarsonens øvre grense være jevn med helning i samme retning som vannet i den mettede sone.

METTET SONE

I den mettede sone eller grunnvannssonen er alle porer fylt med vann. Grunnvannsnivået kan defineres som den flate der vanntrykket er lik atmosfæretrykket. Denne flate kalles grunnvannsspeilet. Over grunnvannsspeilet er vanntrykket mindre enn atmosfæretrykket på grunn av kapillarkreftene. Under grunnvannsspeilet vil trykket øke med dybden. Grunnvannets nedre begrensning er bestemt av bergartenes porøsitet. Med økende dybde avtar porøsiteten, og man regner at det ikke fins porer dypere enn 10 000 meter. Vannførende lag er imidlertid funnet på flere tusen meters dybde. På store dyp er vannet ofte under trykk som er betydelig større enn det hydrostatiske trykket skulle betinge.

Grunnvannets trykk eller potensial i et punkt er vanntrykket i punktet i forhold til grunnvannsspeilet. På kart over grunnvannsforekomster er det tegnet inn koter med samme trykk hvor grunnvannsspeilet er kote 0. Trykket angis vanligvis i cm vannsøyle eller i logaritmen til tallet som angir trykket i cm vannsøyle. Dersom grunnvannstrykket er forskjellig i to punkter i samme vannførende lag, vil grunnvannet strømme fra punktet med høyest til punktet med lavest potensial. Den hydrauliske gradient angir potensialfallet i meter pr. tusen meter. Normalt er den hydrauliske gradient under naturlige forhold bare få promille. Vannets strømningshastighet er proporsjonal med den hydrauliske gradient og grunnens porøsitet som igjen er avhengig av kornstørrelsen.

Typer av grunnvannsmagasin

Grunnens evne til å la vannet passere under påvirkning av den naturlige hydrauliske gradient kalles grunnens permeabilitet. Dersom grunnen har en viss permeabilitet, betegnes den for vannførende i motsetning til impermeable avsetninger som da er vannstansende.

En vannfylt og vannførende formasjon kalles et grunnvannsmagasin, et grunnvannsreservoar, en grunnvannsforekomst eller bare et vannførende lag. Grunnvannsmagasinene kan etter deres oppbygning inndeles i to typer: Frie grunnvannsmagasiner og lukkede eller arteriske grunnvannsmagasiner.

Vannet i frie grunnvannsmagasiner er under direkte påvirkning av atmosfærens trykk gjennom de overliggende porøse lag. Det er derfor passasje for vann eller andre væsker (f.eks. olje) fra overflaten og ned gjennom den overliggende umettede sone til grunnvannet.

Vannet i et lukket grunnvannsmagasin ligger mellom to tette lag. Vannet er under trykk, og det er ikke noen direkte passasje for væsker fra jordoverflaten til grunnvannet. Noen egentlig kapillarsone fins ikke. Vanntrykket kan ofte være så høyt at det tilsvarende 0-nivå ligger over terrenget. Ved boring i et slik grunnvannsmagasin, vil vannet komme opp ved eget trykk. I et artesisk område vil det ikke kunne sive vann eller forurensninger gjennom de overliggende tette lag og ned til grunnvannet. Om de overliggende lag har en viss permeabilitet, vil vannstrømmen gå i motsatt retning. Oppfyllingen til et artesisk grunnvannsmagasin vil foregå på et nivå høyere i terrenget og så langt borte at magasinet går over til magasin med fritt grunnvann hvor grunnvannspeilet ligger under terrenget.

Variasjoner i grunnvannsspeil og trykknivå

På grunn av forskjeller både i nedbør og plantenes vannforbruk vil nedsivingen til grunnvannet variere i løpet av året. I visse perioder er nedsivingen stor, i andre kan den være liten eller lik null. Da avgangen av grunnvann er forholdsvis konstant, vil variasjoner i vanntilførsel forårsake at nivået for grunnvannsspeilet varierer med årstiden. Foruten egenskaper ved selve magasinet, som permeabilitet, porøsitet og magasin-type, vil variasjonene være avhengig av dybden til grunnvannet og de fysiske egenskaper til materialet i den umettede sone. Variasjoner i grunnvannet er vanligvis størst i sekundære grunnvannsmagasiner (hengende grunnvann) og minst i dypere liggende, regionale magasiner.

Strømning i umettet sone

Nedbøren som faller på jordoverflaten, siger først ned i rotsonen. Det vannet som ikke blir holdt tilbake, siger videre ned gjennom den umettede sone og ned til grunnvannet. Da også forurensninger blir avsatt på jordoverflaten, er det nødvendig å komme nærmere inn på strømningsbildet i den umettede sone.

Fig.2 Eksempel på avtagende infiltrasjonsintensitet med tida i tre ulike jordarter
(Etter H.C. Aslyng)

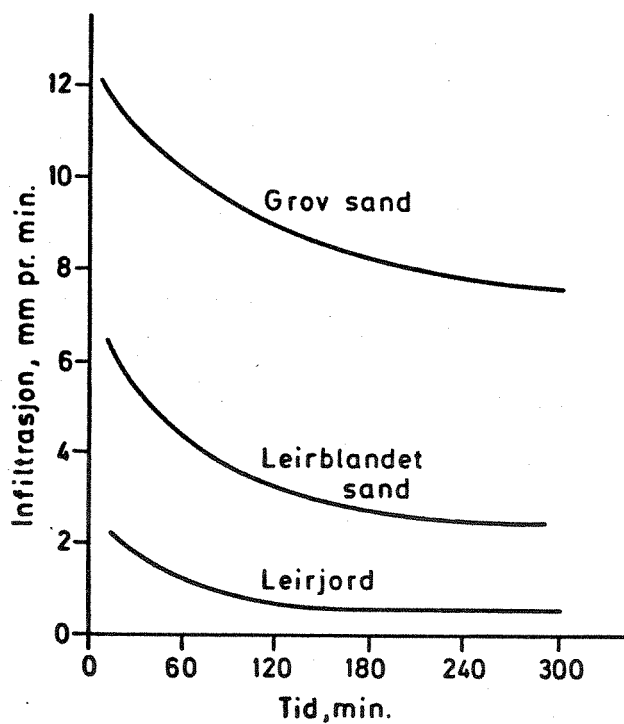


Fig.3 Jordprofil med inntegnede vannstrømmer

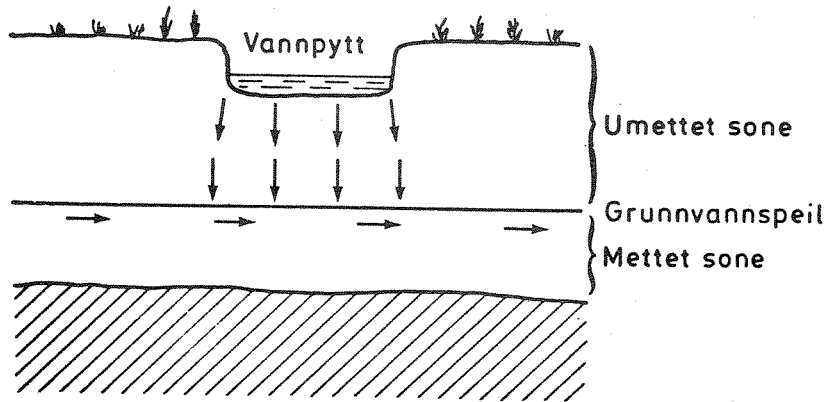
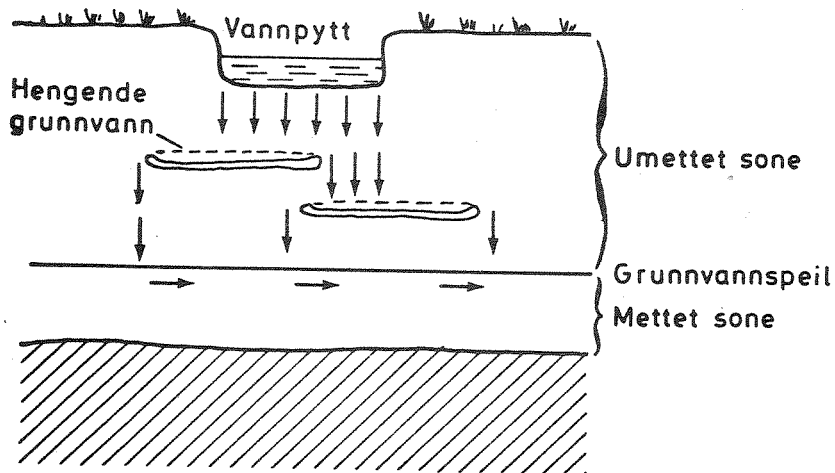


Fig.4 Jordprofil med innskutte tette lag (hengende grunnvann)



Ved infiltrasjon i tørr grunn vil hastigheten som vannet siver ned med, være høy til å begynne med og avtar etter hvert som jorden blir mettet med vann. Mens jorden ennå er tørr, er det kapillarkrefter som hjelper til å trekke vannet ned. Etter hvert som trykkpotensialet avtar i en homogent profil og det fuktete sjikt blir dypere, nærmer infiltrasjonshastigheten seg til en konstant verdi. Figur 2 viser hvordan infiltrasjonshastigheten avtar med tiden for tre ulike jordarter (2).

Vannet på jordoverflaten samler seg gjerne i groper og siger derfra vertikalt ned i umettede soner ned mot grunnvannet. Et snitt av jordoverflaten er vist på figur 3, hvor vann strømmer gjennom et homogent materiale fra en sølepytt og ned til grunnvannet er angitt med piler. Hastigheten (3) for vannstrømmen er avhengig av materialet i grunnen og i hvilken grad den mettede sone er mettet med vann. Dersom det fins lag av leire i den umettede sone, og permeabiliteten for leire er lavere enn for den omkringliggende masse, vil leirlagene demme opp for sigeevannet. Det dannes partier av hengende grunnvann som da dreneres til grunnvannet. Figur 4 viser hvordan vannet kan bevege seg gjennom et snitt av jorden hvor man har innskutte tette partier av leire.

STRØMNING I METTET SONE

I den mettede sonen beveger vannstrømmen seg stort sett parallelt med jordoverflaten når grunnen er homogen. På et kart hvor koter for grunnvannspeilet er tegnet inn, vil vannstrømmen gå vinkelrett på kotene og i retning fra høyre mot lavere nivå. Dette er illustrert på figur 5.

Strømningshastigheten for en væske i et porøst og gjennomtrengelig materiale kan uttrykkes i Darcys lov:

$$V = - \frac{K s A}{\mu} \cdot \frac{d\psi}{dx}$$

hvor $\frac{d\psi}{dx}$ er potensialgradienten

K er den absolutte permeabilitet

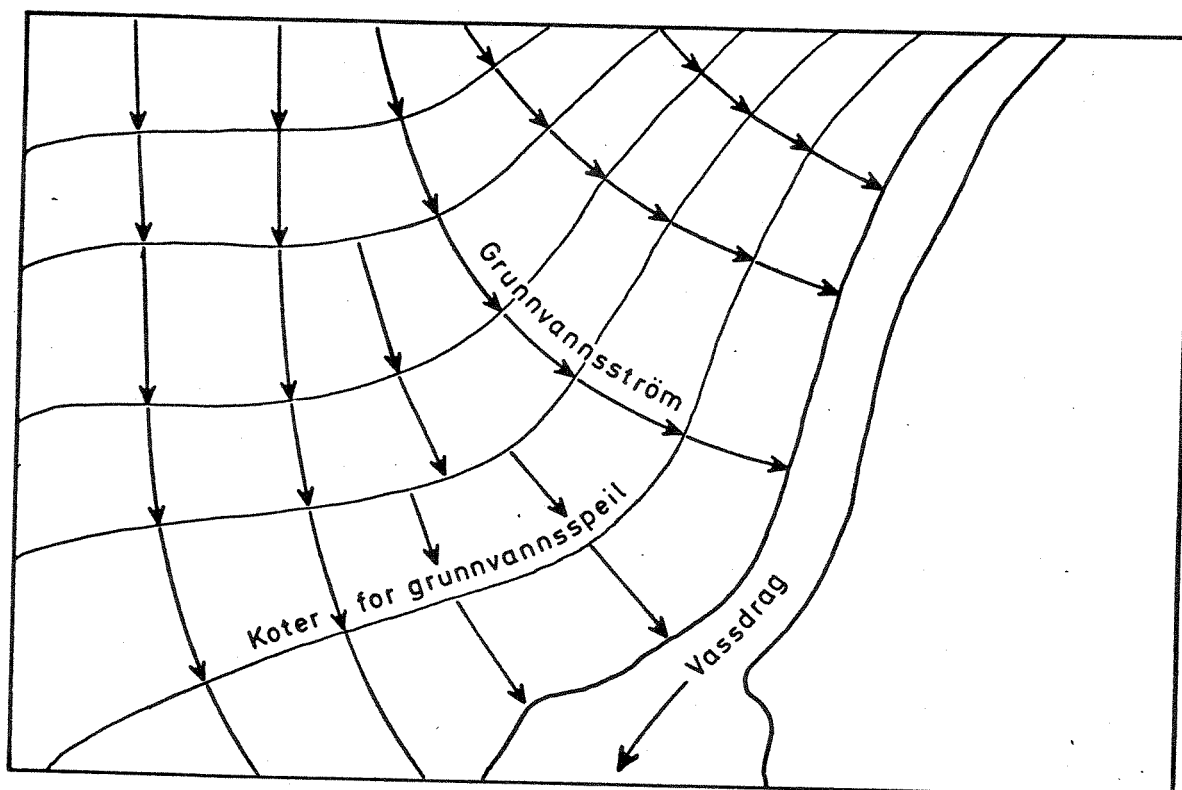
S er det spesifikke kornareal (areal/porevolum)

A er overflaten av det porøse medium vinkelrett på strømningsretningen

μ er absolutt viskositet.

For en bestemt væske, f.eks. vann i mettet jord, settes ofte uttrykket $\frac{k S A}{\mu} = K$. K er da den hydrologiske permeabilitet og refererer seg til vannets strømning i meter pr. sekund, eller liter pr. sekund gjennom en bestemt flate, f.eks. pr. m².

Fig.5 Kartskisse over grunnvannsnivå hvor strømretning er angitt med piler



OLJEUTSLIPP

Olje på jordoverflaten vil spre seg utover unntatt der overflaten er ugjennomtrengelig vil den også synke ned i jorden. Graden av nedtrengning er avhengig av grunnens beskaffenhet og av oljens type og mengde.

Olje med lav viskositet vil trenge hurtig ned dersom grunnen er tørr og porøs. Dette vil redusere utspreidningen til sidene. En leirliknende grunn mett med vann, vil derimot hindre infiltrasjon. I slike tilfeller og om oljen er mer viskøs, vil den spre seg på overflaten over et større område. Meget viskøs olje som f.eks. fyringsolje som fraktes oppvarmet og avkjøles i kontakt med grunnen, vil danne en tjæreliknende masse.

På grunn av porøsiteten i vekstsonen vil oljen vanligvis bare mette de øverste 10 til 20 cm. Videre nedtrenging vil foregå ved at det dannes inneslutninger av olje i tørre hulrom. Der hulrommene er våte, vil vannet hindre videre nedtrengning.

Flyktige forbindelser i oljen vil fordampe, og hvor mye som fordamper vil avhenge av temperatur og vindforhold. Dette vil medføre eksplosjonsfare. Hvor lenge eksplosjonsfaren vil vare, vil avhenge av produktet, mengden av utslippet, temperatur- og vindforhold og utbredelsen av det. For en gitt utslippsmengde vil fordampningen være raskere jo større utbredelse utslippet får, og desto kortere varighet vil eksplosjonsfaren være.

I tilfeller hvor flyktige forbindelser er lekket ut, må utstyr som ikke er eksplosjonssikkert, bare brukes etter at eksplosjonsrisikoen er målt med tilfredsstillende utstyr, og mens slikt måleutstyr er i kontinuerlig bruk.

STRØMNING AV OLJE I JORDEN

Olje på jordoverflaten vil trenge ned i rotsonen og trenge videre ned gjennom den mettede sone som et enfase-system. Det vil si som homogen væskestrøm ikke blandbar med vann. Dersom oljeavsetningen er stor nok, vil oljefasen trenge ned mot grunnvannet og spre seg i kapillarsonen.

Figur 6 viser forskjellige stadier i oljens bevegelse ned mot grunnvannet, og figur 7 viser oljeforurensning i forskjellige typer jord.

På samme måte som den umettede sone inneholder jordvann, vil den også holde tilbake olje, avhengig av grunnens porøsitet og permeabilitet og oljens viskositet. Dersom oljeutslippet er spredt over et større område, slik at mengden olje pr. flateenhet er liten og grunnvannsspeilet ligger dypt, kan all oljen bli holdt tilbake i den umettede sone. Det dannes en inneslutning av oljen i den umettede sone, og oljen vil ikke trenge videre ned mot grunnvannet.

Mengden av den oljen som holdes tilbake, angis forskjellig i litteraturen. I Tyskland har man funnet at oljeinnholdet generelt er lavt og av størrelsesorden 10 l/m^3 . Meget sjelden kan det komme opp i ca. 50 l/m^3 . For sand av middels gradering har man funnet at den tilbakeholdte oljemengde kan utgjøre 20% av porevolumet. Amerikanske forsøk har vist at den nedre grense for oljeinnholdet er ca. 15% av porevolumet.

I litteraturen angis at helt tørr sand binder oljen til sandkornene på grunn av adsorpsjon i motsetning til fuktig sand som lar oljen passere (4). Dette synes å gjelde til en viss metningsgrense for vanninnhold er oppnådd. Deretter hindrer vannet utbredningen av oljen (5). Denne siste effekt er bekreftet ved forsøk i Sverige (6).

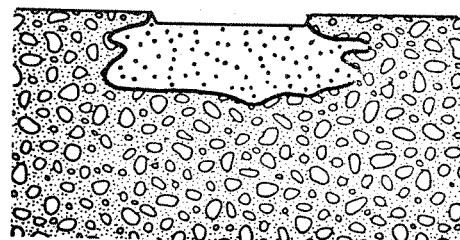
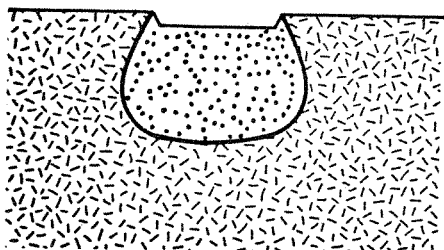
Fig.6 Eksempler på oljens nedtrengning i porøs jordbunn

Homogen grunn

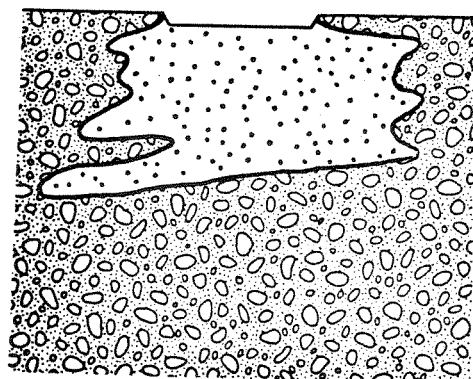
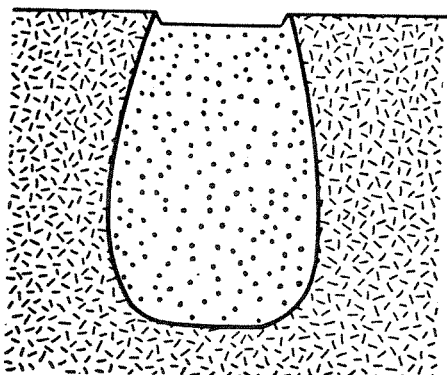
Ikke homogen grunn

Tid etter utslipp

1 time



24 timer



7 dager

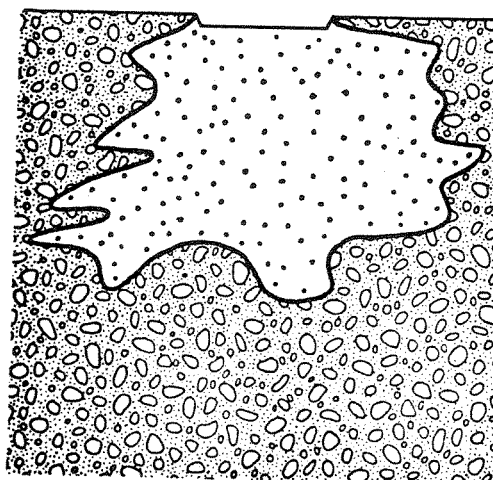
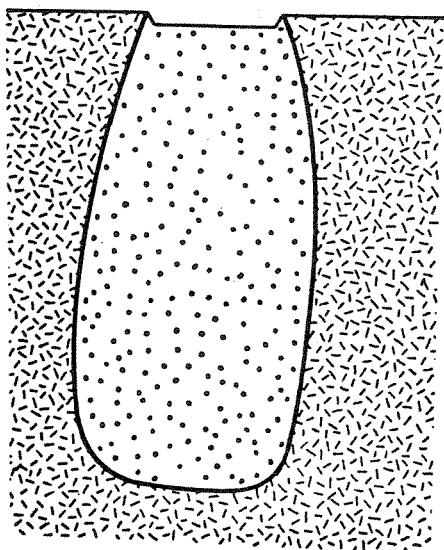
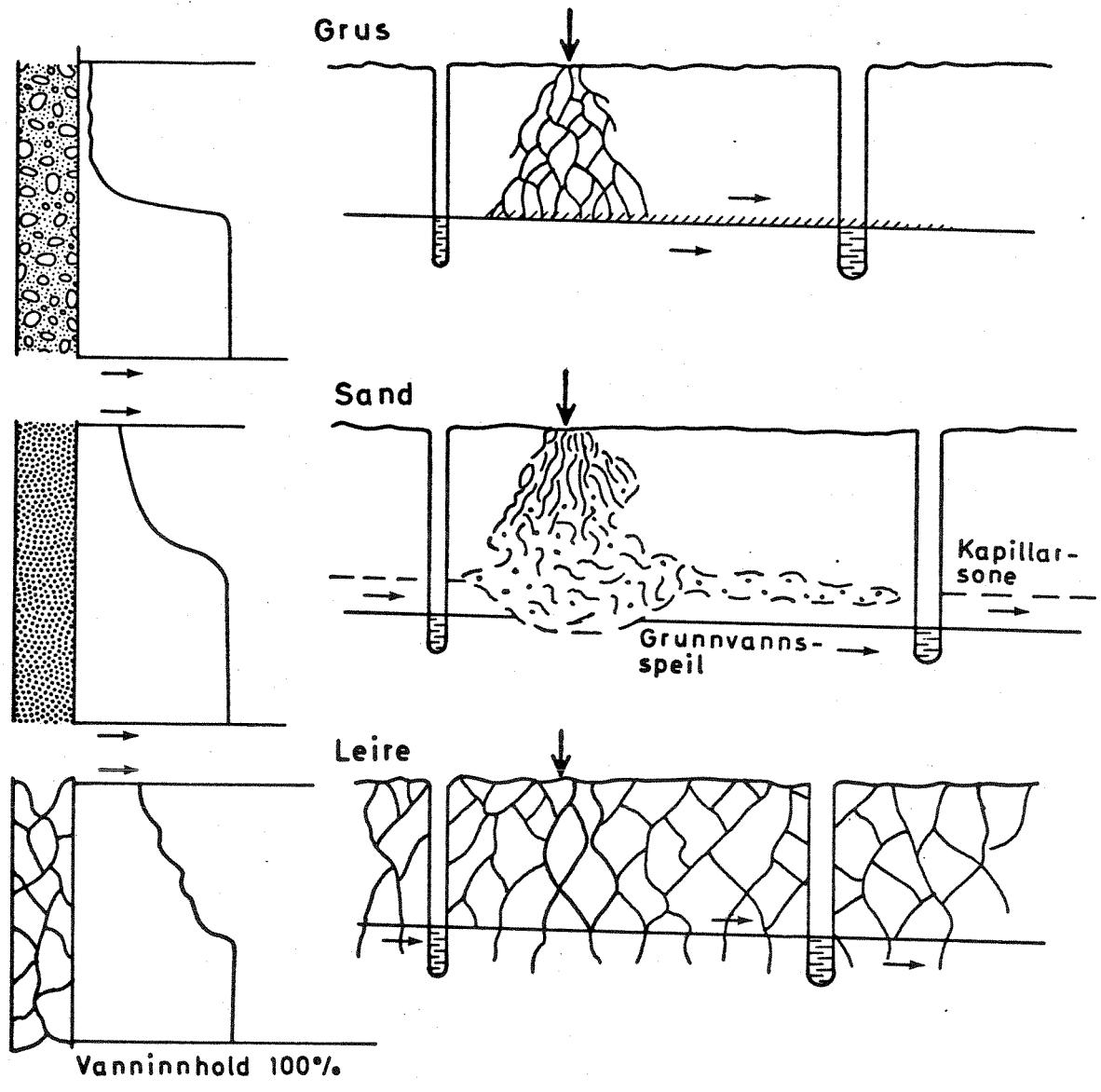


Fig.7 Transport av olje med grunnvannsström



Olje og vann i grunnen representerer et to-fasesystem. I den umettede sone er det luft som også vil inneholde damper av oljen. Teorien for et slikt flerfasesystem er behandlet av van Dam (4).

I et system av flere faser vil strømningsbildet bli komplisert. Det oppstår andre overflatespenninger. Grenseflaten mellom olje og vann virker analog med en grenseflate mellom luft og vann. Det dannes menisker i halsene mellom porene, og det oppstår en kapillarsperre. Dette forårsaker at det kreves et overtrykk for å drive oljen gjennom et vannmettet pore-system, og disse kapillareffektene er av vesentlig betydning, både når det gjelder nedsiving av olje gjennom den umettede sone og den vertikale transport av oljen med grunnvannsstrømmen. Oljen transporteres derfor ikke på grunnvannsstrømmen og med samme hastighet som denne, men vesentlig langsommere. I sandjord er hastigheten for olje i størrelsesorden $1/3 - 1/10$ av vannstrømmen og kan stoppes helt av en grenseflate mellom grovere og finere materiale.

Ved større oljeutslipp i forskjellig homogent materiale har man i Tyskland (7) på grunnlag av praktiske målinger kunnet fastslå den avstand oljen har spredd seg i en bestemt tid.

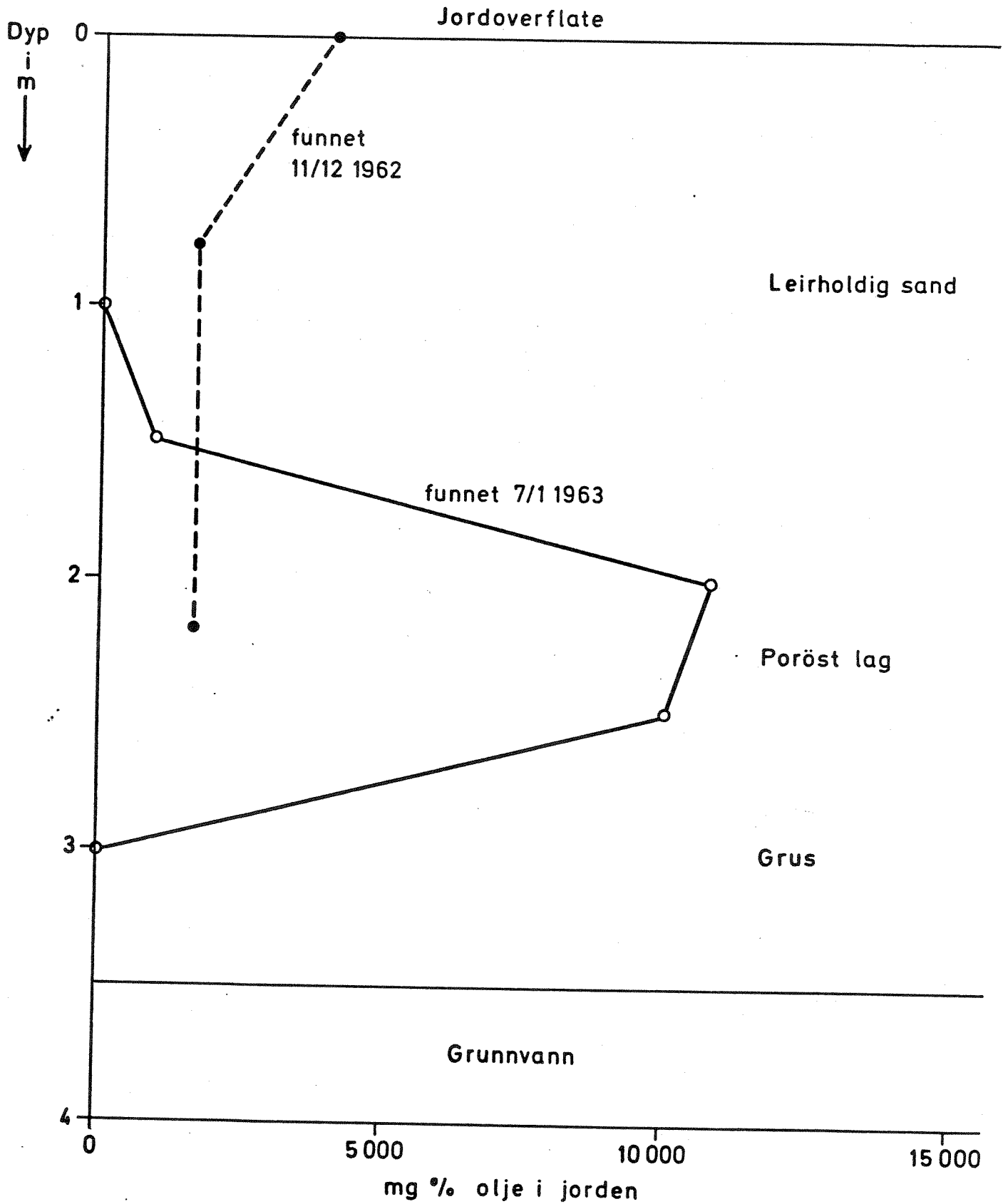
Materialet var fra meget fin sand til grov grus. Som tidligere nevnt sprer olje seg med grunnvannet i kapillarsonen. Tykkelsen av denne oljestrømmen angis forskjellig. Ved tidligere undersøkelser fant man i Tyskland at tykkelsen bare var noen få cm. Ved senere målinger har man funnet tykkelser på 5 til 10 cm. Etter et større utslipp i Tyskland ble det foretatt grunnboringer for å bestemme oljeinnholdet i jorden. Resultatene er angitt i figur 8.

Dersom oljeutslippet er begrenset, vil oljen på grunn av kapillarkreftene olje/vann, bevege seg langsommere og langsommere, for til slutt å stoppe helt opp. Det danner seg da ubevegelig inneslutning av olje i grunnen (8)

Grunnvannet vil strømme forbi denne inneslutningen av olje i grunnen, eller igjennom den dersom grunnen ikke er fullstendig mettet med olje. (9)

Nå er oljen til en viss grad løselig i vann. Løseligheten er riktignok lav, men kan være høy nok til å sette lukt og smak på vannet.

Fig. 8 Rörledningen Marseille - Karlsruhe
Oljens fordeling i jorden (12)



OLJE I GRUNNEN

Oljens bevegelse nedover i jorden vil pågå så lenge oljen ikke blir oppsugd i grunnen, stoppet av et ugjennomtrengelig lag eller når grunnvannet. I en homogen masse vil nedtrenging til maksimal dybde foregå så lenge det fins oljedammer på overflaten. Disse opprettholder trykket som skal til for å sikre nedtrengningen.

Den maksimale nedtrengningsdybde kan bestemmes ut fra følgende uttrykk:

$$D = \frac{1000 \cdot V}{A \cdot R \cdot k} \quad (10)$$

hvor D = maksimal nedtrengningsdybde i m

V = volumet av den infiltrerte olje i m³

A = arealet av den infiltrerte flate i m²

R = grunnens retensjonskapasitet i l/m³

"k" = er en tilnærmet korreksjonsfaktor for oljens viskositet.

k = 0,5 for oljeprodukter med lav viskositet, f.eks. bensin

k = 1,0 for kerosen, gassoljer og produkter med tilsvarende viskositet.

k = 2 for mer viskøse oljer, som lette fyringsoljer.

I tabellen nedenfor er angitt typiske retensjonskapasiteter for porøse jordarter (11):

Jordart	R Oljens retensjons- kapasitet i l/m ³
Sten, grov singel	5
Singel, grov sand	8
Grov sand, middels sand	15
Middels sand, fin sand	25
Fin sand, silt	40

Som eksempel kan nevnes at 1 m³ kerosen spredt over et område på 10 m³. Maksimal nedtrengningsdybde i grunn av sten og grov singel vil bli 20 m, i grov til middels sand 6,7 m og bare 2,5 m i grunn av fin sand og silt.

Verdien for R gjelder for porøs grunn med naturlig fuktighet. Retensjonskapasiteten øker for tørr grunn. Dersom grunnen består av lag med forskjel-

lig retensjonskapasitet, må en midlere verdi for R velges. Generelt vil grunn av forskjellig sammensetning øke retensjonskapasiteten. Da jordarter aldri er helt homogene, vil oljens bevegelse i grunnen i praksis alltid avvike fra hva man kommer frem til ved teoretiske beregninger.

OLJE I GRUNNVANNET

Oljen som trenger ned i grunnen og når grunnvannsnivået, kan spre seg horisontalt over grunnvannet. Opprinnelig beveger oljen seg relativt fort under trykk av oljestrømmen i den umettede sone. Men etterhvert som trykket avtar, avtar etterhvert også hastigheten som oljen sprer seg med i grunnvannet.

Oljens bevegelse i oppsprukket fjellprofil vil være helt forskjellig fra generelle spredningsmønster i porøs grunn. I slike tilfeller har oljen en tendens til å bli fanget inn i hulrom, og bare i meget få tilfeller vet man at olje har spredd seg videre.

I kapillarsonen er grunnen mettet med vann. På grunn av forskjellig gradering av materialet i jorden vil utstrekningen av denne sone være varierende. Vannet vil trekke høyere opp i fint materiale enn i grovere. Det oppstår da en overgangssone som er delvis mettet med vann, og det er i denne overgangssonen at oljen sprer seg horisontalt med grunnvannsstrømmen. I homogen grunn vil oljen danne en eggformet spredningsfront. Etterhvert som oljen sprer seg og det oppstår variasjoner i grunnens permeabilitet, vil spredningsmønsteret avvike fra den karakteristiske eggformen. I grovere materiale vil oljen spre seg hurtigere, mens den blir holdt tilbake eller kan bli stoppet helt av finere materiale inntil kapillarbarriæren blir nedbrutt.

Oljens utbredelse i grunnen kan beregnes ut fra følgende formel:

$$S = \frac{1000 V - A \cdot R \cdot d \cdot k}{F}$$

hvor S er den maksimale utbredelse av oljen, som fase, i kapillarsonen, m².

V er volumet av den infiltrerte olje, m³.

A er arealet av den infiltrerte flate, m².

R er jordens retensjonskapasitet over kapillarsonen, 1/m³.

d er dybde til grunnvannspeilet, m.

F er tykkelsen av oljelaget i kapillarsonen, mm.

k er en tilnærmet korreksjonsfaktor, se side 17.

Verdier for R og F er gitt i tabellen nedenfor.

Jordart	R Retensjonskapasitet for olje l/m ³	F Oljelagets tykkelse mm
Stener, grov grus	5	<5
Grus, grov sand	8	8
Grove, middels sand	15	12
Middels sand, fin sand	25	20
Fin sand, silt	40	40

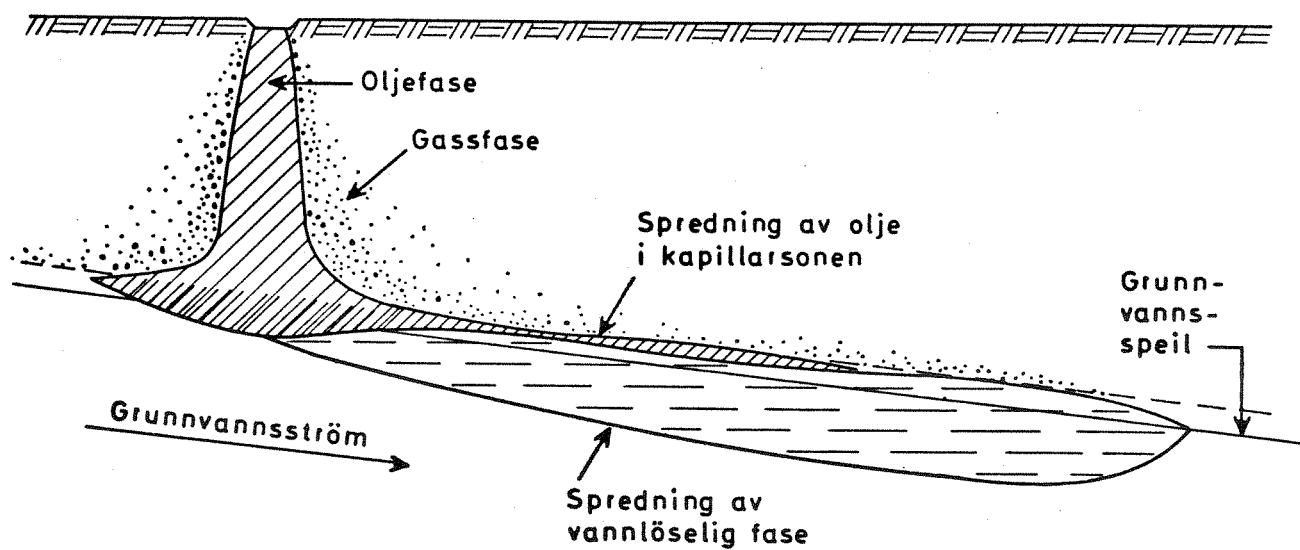
På grunn av jordprofilens inhomogene natur vil oljens utbredelse bli mindre enn det teoretiske beregnede maksimum.

Spredningshastigheten for olje varierer enormt. I tabell 1 er angitt noen eksempler på avstanden som olje i praksis har spredd seg på og tiden for spredningen. Typisk er at oljen når 40 - 70% av sin maksimale utbredelse i løpet av de første 24 timer og 60 - 90% nåes i løpet av en uke.

Oljens bevegelse i grunnen kan foregå over lange avstander, opptil 6 km som tabellen viser. Etterhvert vil oljen opptas i grunnen, og en videre bevegelse av olje som fase kan foregå ved fortregning av vann. Dette kan føre til langsom utsiving av olje i retning av grunnvannstrømmen. Oljen kan komme frem igjen i kilde eller utspring og deretter forurense overflatevannet. Slik tilsynekomst av olje vil vanligvis skje etter større regnskyll eller under snøsmelting og kan fortsette i flere år, avhengig av avstanden mellom stedet for oljesølet og grunnvannets infiltreringsområde. Det er imidlertid meget sjelden at oljen, som væskefase, beveger seg utenfor sitt umiddelbare utslippsområde.

Oljens bevegelse med grunnvannet er illustrert i figur 9. Dersom tilstrekkelig trykk er tilstede, kan oljestrømmen i vertikalretningen trenge under grunnvannsnivået. Men grenseflaten mellom olje og vann vil heve seg igjen etterhvert som trykket avtar ved at oljen strømmer horisontalt i kapillarsonen. Oljestrømmens tykkelse er bestemt av jordprofilens struktur.

Fig.9 Oljens bevegelse og kontakt med grunnvannet i en porøs profil



Tabell 1. Spredningsavstander (13).

Avstand	Nødvendig tid	Produkt	Geologisk lag	Lokalitet
Noen cm		Råolje	Sand	Meppen
5 m	3 mnd.	Råolje	Leire	-
20 m	4 uker	Kerosene	Mjele	Eifel
50 m		Petroleum		Baden-Baden
50 m		Transformatorolje		Berlin
50 m		Kerosen	Sand	Langeoog
72 m		Petroleum	Fin sand	Utrecht
75 m		Olje		Radevormwald
80 m	16 dager	Dieselolje	Grov grus	Winterthur
80 m		Olje	Sand, delvis grus	Ewersbach
100 m	5 mndr.	Petroleum & bensin		Koellerbach
150 m	82 dager	Fyringsolje		Paderborn
210 m		Tjæreolje		Neckarsulm
220 m	4 uker	Kerosen	Rød sandsten	Pforzheim
350		Fyringsolje	Sand m/grus	Saarbruecken
400 m		Petroleum		Hamburg
500 m		Råolje	Kalksten	Russia
500 m		Petroleum		Fuerth
700 m	4½ år	Petroleum	Fin sand	Holland
700 m	7 år	Petroleum		Wesel
800 m	ca.20 år	Renseavfall		Østerike
2-5 km		Petroleum		Lautern
2-3 km	160-180 d.	Petroleum	Kalksten	Munich
3-4 km		Tjæreprod.	Krittformasjon	Wuerzburg
Opp til 6 km	40 år	Tjæreprod.	Sand	Berlin

Etterhvert som regnvann trenger ned gjennom oljeholdig grunn, vil hydrokarbonene løses opp og føres ned mot grunnvannet. Her vil den løste fase av oljen blandes med grunnvannet og følge grunnvannsstrømmen.

Oljen i kapillarsonen har stor kontaktflate med vannet, slik at den mengde olje som går i løsning til enhver tid, er stor. Diffusjon av oppløst fase foregår bare i sprekker i fjell, men på grunn av mindre kontaktflate mellom olje og vann, vil den mengde olje som går i løsning til enhver tid, være mindre i fjell enn i homogen grunn.

Den løste fase spres og fortynnes etterhvert som den føres med grunnvannsstrømmen. Konsentrasjonen av hydrokarboner i grunnvannet vil dermed avta etterhvert som avstanden til forurensningskilden blir større.

Dersom grunnvannet eventuelt kommer mot overflaten, vil oppløst stoff brytes ned biologisk. Dette gjør at, med mindre grunnvannet utnyttes som drikkevannskilde, oljen som potensiell trussel mot grunnvannet er betydelig redusert.

De flyktige forbindelser i oljen vil fordampe og unnvike som gass. Gassfasen vil blande seg med jordluften og spre seg i den umettede sone umiddelbart over kapillarsonen og i utstrekning nå lengre enn oljefasen. Gassfasen vil ikke forårsake noen forurensningsproblemer for grunnvannet.

Olje i undergrunnen er utsatt for en langsom biokjemisk nedbrytning. Denne nedbrytningen er avhengig av oksygentilgang. Jo dypere ned i grunnen oljen ligger, jo vanskeligere har oksygenet for å komme til og desto langsommere vil nedbrytningen være.

STANSNING AV OLJESTRØM

Kapillarsperreeffekten for vann og oljer med lav viskositet (parafin og lettere fyringsoljer) i forskjellige jordarter har vært undersøkt av Gunnar Beskow (14). Han fant at kapillaritet for vann/olje var ca. 30-50% av kapillariteten vann/luft. Kapillarsperreeffekten har stor betydning for oljens bevegelse med markvannet. Da trykksperren virker ved overganger grovere/finere materiale, har oljen en tendens til å samle seg i hulrom av grovere materiale, noe som kan føre til store avvikelser fra de normale strømningsretninger i trykkgradientretningen.

Grøfter kan virke som sperre for oljen i oljeforurenset grunnvann. Figur 10 viser grøft i sandjord. På grunn av kapillarsperreeffekten ved grøfteveggene vil den virke som sperre for oljen. For å få oljen inn i den vannfylte sanden, kreves et overtrykk. Denne kan bare brukes som en tilfeldig grovsperre.

Figur 11 viser spuntvegg i leire nedstrøms en åpen grøft. Figur 12 viser hvordan man generelt kan stanse olje i mark med en spuntvegg i singelfylt grøft.

Fig.10 Grøft for stansing av oljestrøm i sandjord

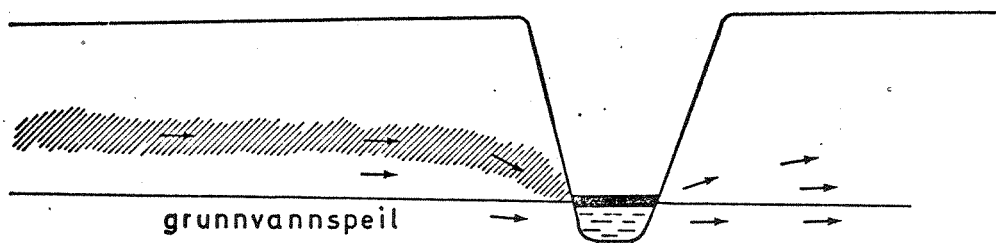


Fig.11 Grøft og spuntvegg i leirjord

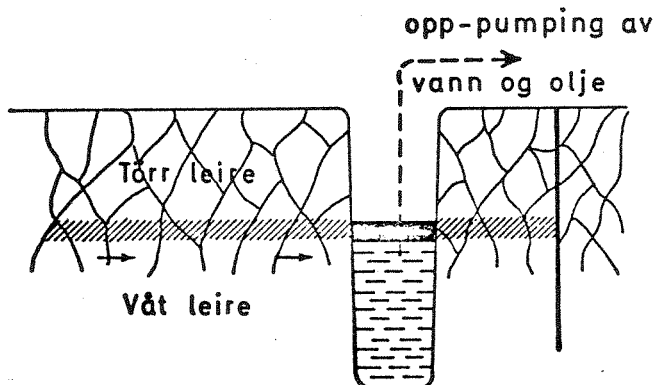
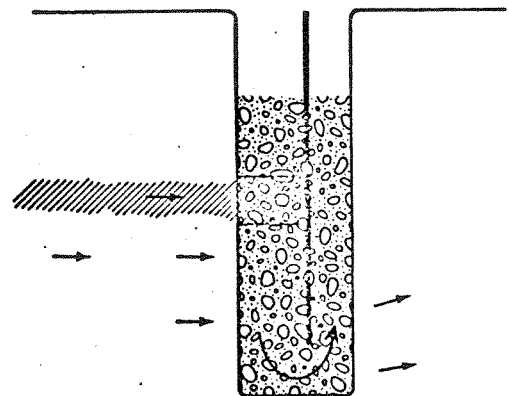


Fig.12 Spuntvegg i grøft



OPPRENSKING ETTER OLJEUTSLIPP

OLJE PÅ OVERFLATEN

I tilfelle av oljeutslipp er det viktig at det så fort som mulig blir satt igang tiltak for å begrense utslippet og dermed begrense skadevirkningene så godt som mulig. Ved tankbilvelt på en landevei vil uhellet normalt bli oppdaget umiddelbart, og tiltak mot oljesøl kan iverksettes straks.

De fleste tankbilvelt foregår om vinteren når bakken er frosset og dekket med snø. Oljen vil ikke kunne trenge ned i grunnen, men absorberes i snølaget. I snøen blir oljen avkjølet og viskositeten større slik at oljen vil spre seg over et mindre område, og dette området vil bli mindre desto kaldere det er i været. I slike tilfeller kan oljen tas opp allerede før den trenger ned i grunnen.

Utstrekningen av et oljeutslipp på jordoverflaten må begrenses så mye som mulig. Dette kan gjøres ved å samle oljen ved inngrøfting og bygge demninger, slik at mest mulig av oljen kan pumpes opp.

OLJE I GRUNNEN

Det er bare for porøs grunn det kan bli aktuelt å foreta opprensning i tilfelle av at oljen har trengt ned i grunnen. Opplysninger om de geologiske forhold på utslippstedet og dybde til grunnvannet er nødvendig å innhente fra de lokale myndigheter. I tillegg kan det være nødvendig å foreta boringer for å bestemme grunnvannsspeilet og dybden av den nedtrengte olje, eller for etablering av inspeksjonsbrønner.

En opprenskningsaksjon for oljeforurensset jord kan inndeles i:

- biologisk
- utgravning
- vasking

eller en kombinasjon av disse.

Biologisk opprensning

Olje isolert i grunnen dypere enn 1 m, men godt over grunnvannsspeilet vil neppe forårsake problemer på vegetasjonen eller avlinger i fremtiden. Den kan trygt overlates til den naturlige nedbryting på grunn av biologisk virksomhet.

En gjødsling av jordoverflaten over oljeinnslutningen vil øke den biologiske aktivitet og dermed øke nedbrytingshastigheten.

Utgraving av oljeforurenset jord

Fjerning av oljeforurenset jord, dens henleggelse og erstatning med ren jord er en kostbar operasjon. Det forutsettes at terrenget bringes til dets opprinnelige tilstand på kortest mulig tid. Den er anvendelig for mindre områder, f.eks. hager og i tilfeller hvor det gjelder å beskytte grunnvannsforekomster.

De øverste få cm av den oljemettede jorden kan fjernes med bulldozer. Mettet jord ned til ca. 0,5 m kan på denne måten fjernes hvor det har dannet seg dammer på overflaten. Fjerningen må foretas på grunnlag av synlig forurensing - ikke lukt.

Den oljemettede jorden kan legges på et tett underlag, f.eks. en plastduk. Oljen siger da mot bunnen og kan samles for avtapping eller suges opp i et egnet absorpsjonsmiddel.

Den avskrapede, oljemettede jorden kan spres utover i en tykkelse av opptil 0,5 m. Dette vil lette fordampingen av flyktige komponenter. Bensin eller liknende produkter fjernes ved bare fordampning. Jorden må da ikke tildekkes. Fordampningen kan eventuelt påskyndes ved bevegelse av jorden.

Olje i dypere lag av grunnen kan fjernes, om nødvendig, ved utgraving. Olje i undergrunnen vil ikke være skadelig for vegetasjonen på overflaten. Utgraving kan derfor bare komme på tale som beskyttelse av grunnvannet der dette utnyttes til drikkevann.

Lokale forhold kan være til hinder for at utgraving kan foretas. Forsiktighet må utvises, særlig i utbyggede områder, for å unngå ødeleggelse på nedgravde rør eller kabler. Det må utvises forsiktighet for ikke å ødelegge fundamenteringer for bygninger i nærheten, eller forstyrre stabiliteten til fyllinger for veier eller jernbaner. Nivellering må foretas om nødvendig.

Der det gjelder opprensning etter flyktige forbindelser som bensin, må de som utfører arbeide, bli gjort oppmerksom på at det kan dannes eksplosive blandinger. Utgravde inspeksjonsbrønner eller hull er særlig farlige i denne henseende.

Utgravinger ned til 5 m fra overflaten kan utføres av firmaer med egnet graveutstyr. Ved graving til større dybder er det nødvendig med maskiner på bunnen av det utgravde område til flytting av masser.

Utgifter til utgraving vil øke betydelig når dybden blir mer enn 3 m. Det må ikke tillates utgravinger som kan bryte igjennom naturlig tette lag i profilet. Dette vil bare resultere i at oljen trenger dypere ned i grunnen.

Det er viktig at utgravingsarbeidene blir satt igang så snart som mulig etter oljeutslippet. På denne måte blir oljemettet jord fjernet før oljen får trenge ned til sin maksimale dybde og minst mulig masse blir fjernet. Den fjernede masse må bedømmes på det visuelle grunnlag at den utvilsomt er oljeforurenset. Bare lukt er ikke tilstrekkelig bedømmelsesgrunnlag.

Behandling av oljemettet jord

Jord mett med olje kan brennes på bål. Men dette er en langvarig og arbeidsom operasjon. Bålet må ikke bli for stort, maksimalt 1 m^3 . Det må stadig røres om i bålet for at ny overflate skal få kontakt med flammene. Bålbrenning er derfor bare egnet for små mengder.

En mer effektiv brenningsprosess oppnås ved å bruke en roterende ovn av den type som brukes i sementfabrikker eller asfaltverk.

Transportable anlegg av denne type er utviklet bl.a. i Tyskland av WIBAU GmH, Rothenbergen. Anlegget kan behandle 8-12 t jord pr. time. Avhengig av jordtype og oljekonsentrasjon skal det kunne bringe oljeinnholdet i jorden ned til under 0,05 vektprosent. Jord forurenset med bensin eller liknende produkter kan ikke behandles på denne måte av hensyn til eksplosjonsfaren.

Den varmebehandlede jorden kan bringes tilbake til sin opprinnelige plass. Der man ikke har egnet utstyr til brenning av oljeforurenset jord, kan den dumpes på spesiell dumpeplass. Dumpeplassen må ha tett underlag av plast eller leire og tette vegger. Dreneringen fra plassen må passere oljeavskiller for å samle opp utskilt olje. Jorden må spres så godt som mulig for å få god lufting. Med tiden vil det meste av oljen være nedbrutt og jorden kan brukes på nytt. Dette kan ta fra 3 til 6 år. Lette produkter vil nedbrytes raskere enn tyngre.

Avrenning fra en dumpingsplass må ikke få anledning til å forurense hverken grunnvann eller overflatevann.

Rensing med emulgeringsmidler

Oljeforurenset jord har vært forsøkt renses med emulgeringsmidler. Metoden går ut på å tilføre den forurensete jorden en vandig løsning av et emulgeringsmiddel. Oljen emulgeres i vannet, og emulsjonen pumpes så opp gjennom en rekke jordspyd som settes ned i området. Metoden innebærer imidlertid alvorlig risiko for forurensning av grunnvannet.

Bruk av emulgeringsmiddel kan få oljen til å trenge dypere ned i jordlagene og dessuten er emulgeringsmidlet selv en ny forurensning.

Metoden har vært anvent av et firma i Danmark og vurdert av Sundhetsstyrelsen som hadde kritiske bemerkninger til metoden.

RENSEMETODER FOR GRUNNVANN

Fjerning av olje fra grunnvann er langvarig prosess som kan ta flere måneder, ja kanskje år. Det vil vanligvis være lønnsomt å bruke spesialister til å utføre det meste av arbeidet, men en hurtig innsats like etter utslippet kan redusere utbredelsen av olje og dermed de totale kostnader for opprenskningsaksjonen.

I hvilken grad en opprenskning kan gjennomføres vil avhenge av de lokale forhold.

Øyeblikkelig aksjon.

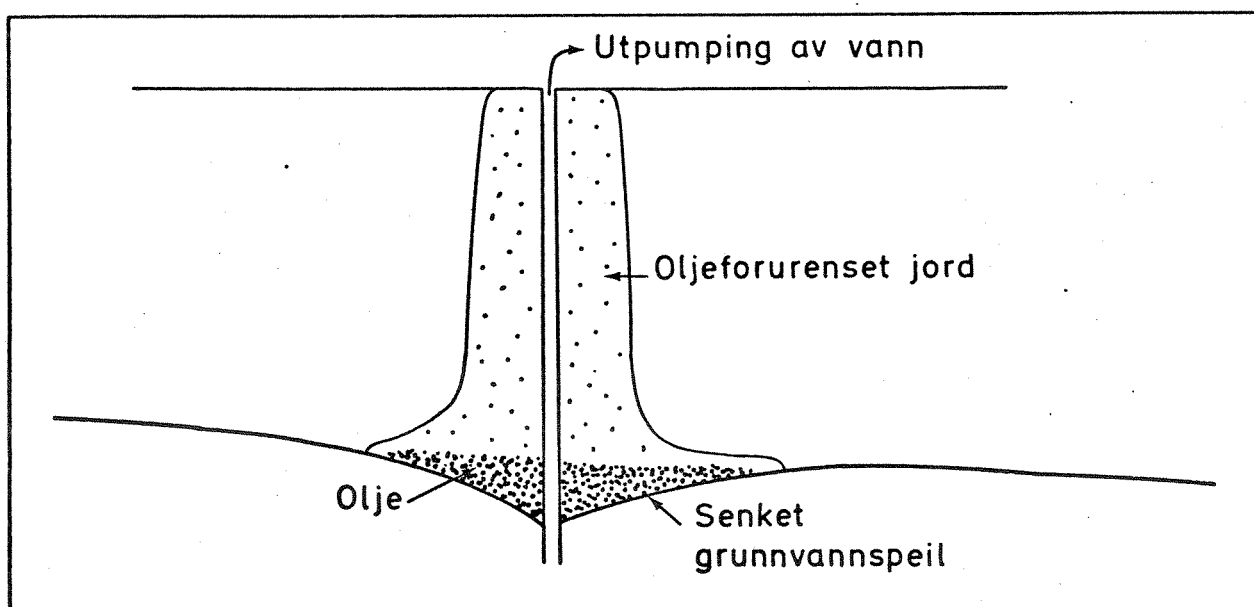
Der et oljeutslipp i løsavsetninger vil true et infiltrasjonsområde for en drikkevannsforsyning, må tiltak for beskyttelse av grunnvann få høy prioritet. Det samme må gjelde om området er planlagt som fremtidig infiltrasjonsområde. Kritiske områder bør utpekes på forhånd og inngå i en eventuell beredskapsplan.

Dersom retensjonskapasiteten til jord er stor nok til å hindre oljen i å nå grunnvannet, må utgravingsarbeider settes igang for å fjerne den oljemettede jorden. Utgravingen bør fortsette ned til grunnvannsnivået, eller dersom dette ligger dypt, til den praktiske grense for det maskinelle utstyre man har til disposisjon. Dersom man ikke når ned til grunnvannspeilet ved gravning, bør det bores ned, men det er ingen hensikt i å bore dypere enn 8 m på dette stadium.

Olje fra grunnvannet kan fjernes ved å skape en lokal senkning i grunnvannspeilet. Oljen vil dermed sige mot og holdes tilbake i denne senkning, og kan pumpes opp i tanker eller fat. Slik senking i grunnvannspeilet er illustrert på figur 13.

Grunnvannsnivået senkes ved å pumpe opp vann fra under grunnvannspeilet gjennom en slange forsynt med sil. Hensikten med dette er så fort som mulig å få dannet en oppsamlingstrakt. Under denne operasjon må det opppumpede vannet ikke få sige tilbake igjen til grunnvannet i nærheten av pumpestedet, men ledes bort fra området. Da pumpeinntaket ligger under

Fig. 13. Oppsamling av olje i grunnen



grunnvannsspeilet, vil det vannet man får, ikke inneholde olje. Når grunnvannsnivået er senket, heves pumpe­slangen slik at man kan pumpe opp olje og vann fra overflaten.

Generelt følger grunnvannsnivået konturene i terrenget. Der man må vente en bratt helning av grunnvannsspeilet, og dette ikke ligger særlig dypt (grunnere enn 2 m), kan det være nyttig å etablere et oppsamlingspunkt til. Dette må plasseres nedstrøms infiltrasjonsstedet og innenfor utbredelses­området for olje. Ved å velge to eller flere opppumpingshull, kan hele oljestrømmen begrenses ved innflytelsen av ekstraksjonsbrønnene uten noen større senkning av grunnvannsnivået på noe sted.

Den maksimale løfte­høyde for sugepumper er 7 til 9 m. For større dyp må pumpen senkes ned. Disse drives enten med elektrisitet eller trykkluft. På grunn av vanskelighetene med å grave eller bore til så store dyp er det urimelig å ha nedsenkingspumper i beredskap og klar til øyeblikkelig operasjon. Opphenting av grunnvann på større dyp må anses som et spesial­område og overlates til spesialister med nødvendig grave- og boreutstyr.

Undersøkelse av oljeforurensningens utbredelse.

En øyeblikkelig aksjon for å stanse en oljeforurensning må vanligvis settes i verk uten noen forutgående undersøkelse av forurensningens utbredelse. Dette er nødvendig av hensyn til kravet om øyeblikkelig handling.

Effektiviteten av en senere fullstendig opprensning etter et oljeut­slipp vil være mer effektiv dersom den er basert på en nøyaktig under­­søkelse av oljens utbredelse. Imidlertid må utgiftene til en undersøkelse være avpasset etter en mulig lønnsom utnyttelse av de oppnådde resultater.

Hovedformålet med en undersøkelse er å fastslå oljestrømmens yttergrenser, slik at opp-pumpingsbrønnene kan plasseres slik at de gir optimale re­­sultater.

Der grunnvannsnivået ligger nær jordoverflaten er utgravde inspeksjonsbrønner å foretrekke. Disse gir best mulighet for å bedømme oljeutbredelsen og kan også tjene som oppsamlingspunkter. De kan også lett utvides etter behov med hånddrevet bor.

Dypere grunnvannsnivå krever boreutstyr som enten kan drives for hånd eller med motor. Ved boring må forsiktighet utvises slik at man ikke borer dypere enn nødvendig. Dermed unngår man å bore gjennom tette lag i grunnen slik at olje ikke sprer seg dypere.

Boreutstyret må gjøres rent før hver inspeksjon for å unngå at prøven blir forurenset. På tilsvarende måte må unngås at borekroner for tyngre boreutstyr kommer i kontakt med fett eller olje.

Den mest alminnelige metode å påvise olje på i en prøve er ved lukt. Lukte-testen bør fortrinnsvis foretas av flere personer umiddelbart etter at prøven er tatt. Bakgrunnslukten fra oljeutslippet kan imidlertid forstyrre lukten fra prøven.

En langt sikrere indikasjon på oljeutbredelsen er synlige spor i prøven, særlig når produktet er flyktig og prøven fortsatt avgir gass. Kjemisk analyse av jordprøver kan også utføres, men dette er skjelden hensiktsmessig.

Dybden til grunnvannsspeilet kan bestemmes med en pasta som skifter farge når den dyppes i vann. Pastaen smøres på en målestav som føres ned i borehullet. Undersøkelser i stor skala og med dypere liggende grunnvannspeil krever vanligvis trenede folk med spesialutstyr.

SAMMENSETNING AV OLJEPRODUKTER

Råolje består av en blanding av hydrokarboner og andre organiske forbindelser. De inneholder karbon, hydrogen, oksygen, nitrogen, svovel m.v. Blandingsforholdet kan variere fra forekomst til forekomst. Tabell 2 viser variasjonen i sammensetningen av de viktigste komponenter i råolje, og tabell 3 viser analysedata for en del råoljer.

Ved raffinering av råolje fjernes forurensninger. Under destileringen splittes råoljen opp i fraksjoner med forskjellig kokepunkt og sammensetningen varierer etter råoljens opprinnelse. Tabell 4 viser hvilke fraksjoner man får fra et destillasjonstårn. Ved prosesser som cracking, alkylering m.v. dannes også produkter med forskjellig sammensetninger. Dessuten tilsettes forskjellige additiver til f.eks. motordrivstoffer før markedsføring.

En gitt kvalitet av et oljeprodukt kan variere i sammensetning. Dette skyldes at et raffineri vanligvis behandler mer enn en type råolje. I visse tilfeller leveres det forskjellige kvaliteter av bensin og gassoljer (dieseloljer og lette fyringsoljer) om sommeren og om vinteren. For dieseloljer kan også sammensetningen variere etter de klimatiske forhold. Bensin blandes f.eks. fra lantan, lett gasolin, medium nafta og tung nafta.

Fyringsparafin og flydrivstoff blandes fra tung nafta og kerosin. Gassoljer blandes fra: tung nafta, kerosin, lett og tung gassolje. I noen tilfeller bare fra kerosin, lett og tung gassolje.

Tabell 2. Elementæranalyse av råolje i vekt %

Karbon	83,9 - 86,8
Hydrogen	11,4 - 14,0
Svovel	0,06 - 8,00
Oksygen	0,5
Metaller (Fe, V, Ni, etc.)	0,03

Litteratur:

Nelson, W.C.: Petroleum refinery engineering.

McCaslin, J.C.: International Petroleum Encyclopedia. The Petroleum Publishing C. 1973.

Tabell 3. Analyse av endel råoljer.

Ref. International Petroleum Encyclopedia

Råolje	Gra- vity ¹⁾ °API	Svovel vekt %	Nitro- gen vekt %	Metaller ppm		Nafta(IBP-200°C) aro- Naftener mater Vol %		Gassolje(200-336°C) aro- Naftener mater Vol%	
				V	Ni				
IRAN									
Ahevay	32,3	1,66	-	23	8	-		-	
Cyrus	17,4	3,68	0,300	151	39	11	29	25	30
Gach Saren	29,3	1,57	0,226	123	33	11	30	25	24
IRAK									
Ain Zalah	32,1	-	-	95	15	-		-	
KUWAIT									
Kuwait	31,4	2,50	-	22,5 -30	4,5 -6,5	14	24	-	
Magwa-Almadi	31,7	2,21	0,125	43	7	12	2	24	21
LIBYA									
Ed Deb	34,2	0,78	0,151	7	11	7	40	21	32
Facha	31,7	1,04	0,119	4	7	6	37	20	32
Khuff	37,0	0,27	0,125	6	12	7	36	19	24
Sarir	37,0	0,15	0,076	-	5	7	22	13	17
NIGERIA									
Robert Kiri	38,4	0,12	0,064	1	2	13	38	24	28
NORGE									
Ekofisk	36,0	0,16	0,1	0,6	2,5	14,2	31,1	18,7	-
QUATAR									
Dukkan	41,0	1,27	-	0,5	0,3	20	-	-	-
Idd-El-Shargi	32,8	1,99	0,069	19	3 6	14	14	29	16
SAUDI ARABIA									
Abaqaiq	28,8	2,76	0,168	49	7	8	14	21	20
Barri	30,2	2,24	0,206	24	3	14	6	25	15
Marrifa	29,8	2,75	0,338	12	1	6	8	26	17
ALASKA									
Prudhoe	27,0	0,82	0,188	31	11	17	32	29	33

1) Gravity °API = $\frac{141,5}{\text{Sp.gr}}$ = 131,5

Tabell 4. Oljekomponenter fra forskjellige råoljer og endel
karakteristiske data.

Fraksjoner	Råoljens opp- rinnelse Total S	LIBYA	IRAN	NORDSJØ A	NORDSJØ A	ARABIA	NIGERIA
			136	0,2	0,28	1,65	0,18
Lett gasoline 20-70°C							
Tetthet kg/l		0,6507	0,6590	0,6687	0,6671	0,6553	0,6605
Svovel total		0,001	0,088	0,001	0,001	0,023	0
Merkaptan S		0	0,073	0,001	0	0,016	0
Parafiner		85,7	81,8	79,9	79,8	91,2	81,1
Naftener		13,1	15,7	16,5	17,8	6,8	17,5
Aromater		1,1	2,5	3,6	2,4	2,0	1,4
Medium nafta 70-145°C							
Tetthet kg/l		0,7342	0,7431	0,7522	0,7487	0,7274	0,7590
Svovel total		0,001	0,089	0,001	0,001	0,028	0,002
Merkaptan S		0	0,042	0,001	0	0,016	0
Parafiner		55,1	52,9	48,0	45,4	69,4	29,8
Naftener		39,7	33,1	36,9	42,0	21,3	59,0
Aromater		5,1	14,0	15,1	12,6	9,3	11,2
Tung nafta 145-175°C							
Tetthet kg/l		0,7672	0,7755	0,7830	0,7799	0,7673	0,7937
Svovel total		0,004	0,114	0,003	0,003	0,040	0,010
Merkaptan S		0	0,023	0,001	0	0	0
Parafiner		51,1	46,5	43,1	44,2	58,8	28,9
Naftener		38,9	34,4	35,2	33,6	21,2	52,1
Aromater		10,0	19,1	21,0	22,1	20,0	19,0
Kerosin 175-235°C							
Tetthet kg/l		0,7928	0,8030	0,8040	0,8111	0,7937	0,8364
Svovel total		0,013	0,223	0,015	0,014	0,151	0,030
Lett gassolje 236-300°C							
Tetthet kg/l		0,8150	0,8400	0,8407	0,8462	0,8285	0,8736
Svovel Total		0,057	0,721	0,071	0,092	0,687	0,101
Pour point °C		- 13	- 18	- 22	- 24	- 23	- 34
Tung gassolje 300-360°C							
Tetthet kg/l		0,8360	0,8752	0,8673	0,8708	0,8679	0,8978
Svovel total		0,116	1,308	0,167	0,266	1,537	0,202
Pour Point °C		17	8	8	7	5	4
Residue 360°C +							
Tetthet kg/l*		0,9136	0,9528	0,9242	0,9307	0,9499	0,9410
Svovel total		0,246	2,445	0,318	0,586	2,947	0,341
Pour Point °C		43	24	25	27	10	36

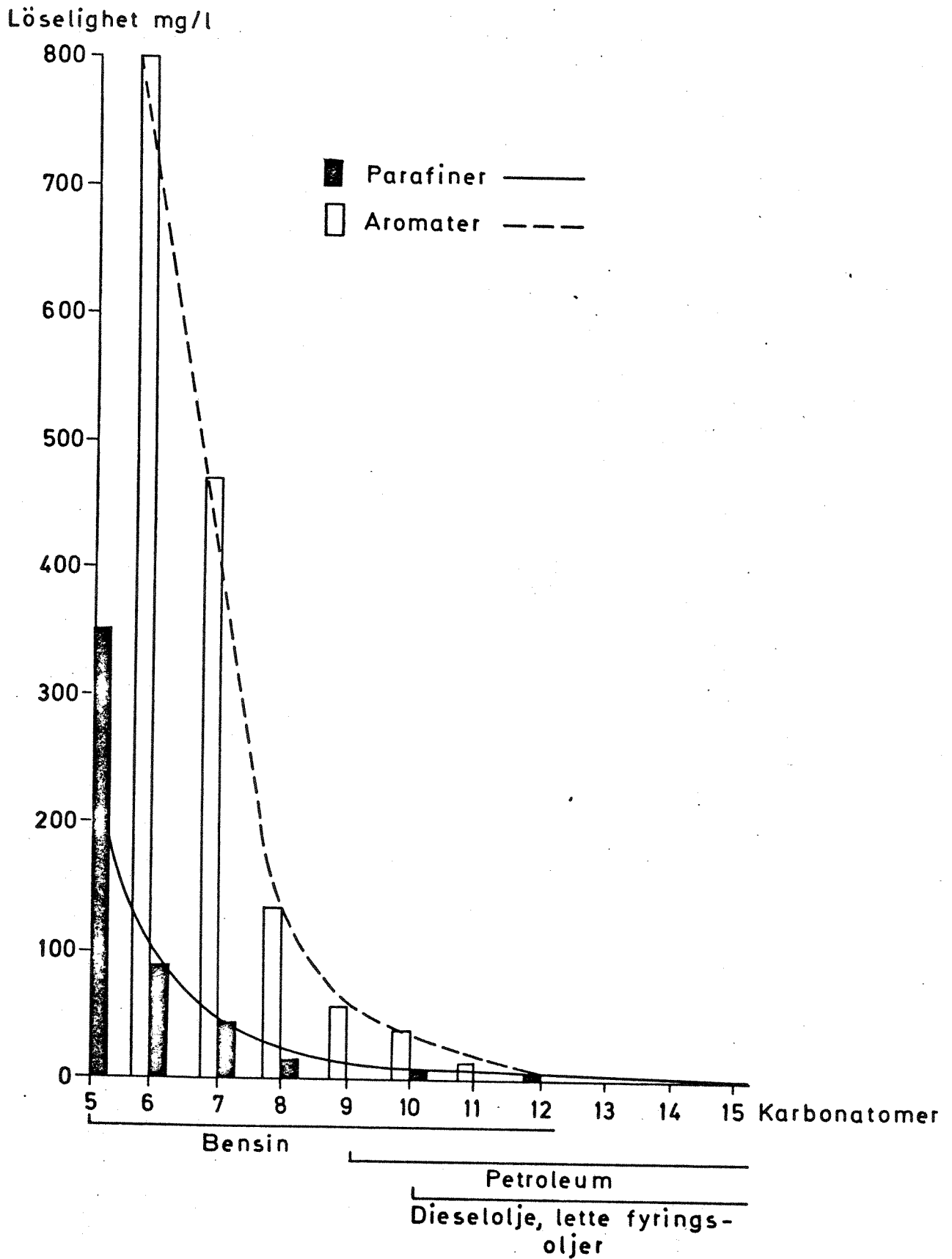
De forskjellige oljeprodukter er sammensatt av en rekke hydrokarboner, alkaliske og aromatiske, med forskjellig karbonatominnhold, og disse har forskjellig oppløselighet i vann. Bensin og dieselolje inneholder dessuten mellom 1,4 og 12,5 mg vannløselige fenoler pr. liter.

International Water Supply Assosiation (IWSA) har angitt løseligheten for hydrokarboner ved 15°C slik: (13)

	mg/liter	C -antall
n-pentan	350	5
n-heksan	86	6
l-heksan	110	6
cycloheksan	94	6
benzen (benzol)	800	6
n-heptan	45	7
toluol	470	7
n-octan	14	8
o.xylen	136	8
n-propylbenzen (-benzol)	60	9
d-decan	6	10
nafthalen	30	10

Av tabellen fremgår at løseligheten avtar med økende karbonatominnhold i forbindelsen, og at aromatiske hydrokarboner er lettere løselig enn alifatiske. Figur 14 viser en grafisk fremstilling av løseligheten i vann for alifatiske og aromatiske hydrokarboner som funksjon av karbonatominnholdet (12). Additiver og visse hydrokarbonderivater er også forholdsvis lett løselig i vann.

Fig. 14 Hydrokarboners løselighet i vann



OLJEPRODUKTERS LØSELIGHETSFORHOLD

Oljeprodukter kan danne både ekte og kolloidale løsninger i vann. De kolloidale oppløsninger kalles gjerne emulsjoner. Emulsjoner av olje i vann kan dannes ved kraftig mekanisk omrøring eller ved tilsetning av emulgeringsmiddel.

En kolloidal oppløsning har man når oljen foreligger i vannfasen i form av så små dråper at den ikke kan skille seg i en oljefase. Emulsjonens stabilitet er bestemt av om oljedråpene i vannfasen kan løpe sammen til større dråper som med tiden kan skille seg i en oljefase. Denne prosessen er generelt bestemt av vannets innhold av oppløste mineralstoffer, slik at jo høyere innhold av mineralstoffer vannet har, desto mindre stabil vil en oljeemulsjon være. Det har dessuten vist seg at når vann med emulgert olje passerer et porøst medium, brytes emulsjonen (15). Sannsynligheten for å finne emulgert olje i grunnvann er derfor liten.

I tabellen nedenfor er angitt oppløseligheten i vann i mg/l for noen oljeprodukter.

Tabell 5. Oljeprodukters oppløselighet i vann, mg/l.

	Spengler 1967	Höll 1968	Handelsdep. 1965	IWSA 1964
Petroleum	10	10	10	
Bensin til rensning	27			
Bensin med additiver	149	149	150	
Dieselolje	22,5	22,5	23	
Råolje	10-30			
Fyringsolje, lett	20			20

RISIKO FOR HELSESKADER

Rene hydrokarboner

Toksikologiske data for de rene hydrokarboner er behandlet av Patty (16). Bortsett fra metan og etan er de mettede hydrokarboner mildt irriterende for slimhinner og hud. Virkningen øker fra pentan til oktan, og avtar så igjen med økende karboninnhold i forbindelsen, slik at hydrokarboner fra heksadelan og høyere er uten disse virkninger. Gleason (17) antar at heksadekan og høyere alifatiske hydrokarboner ikke tas opp fra fordøyelseskanalen. Disse stoffer er faste ved værelsestemperatur.

Generelt er den toksikologiske virkning for de alisykliske hydrokarboner den samme som for de alifatiske. Mettede hydrokarboner er mindre irriterende for vev enn umettede. Både alifatiske og alisykliske hydrokarboner kan ved direkte kontakt med lungevev (innånding) forårsake lungebetendelse og andre lungesykdommer (lungeødem, hæmorrhagi).

Hverken de alifatiske eller de alisykliske hydrokarboner kan akkumuleres i organismen. Ifølge Gleason fremkaller de alifatiske hydrokarboner dyp coma og hemmer reflekser, mens de aromatiske hydrokarboner under coma er karakterisert ved motorisk uro, kramper og hyperaktive reflekser. Aromatiske hydrokarboner (f.eks. bensen) er sterkt irriterende for slimhinner og hud, og kan fremkalle benmargsaplasi. Alisykliske hydrokarboner kan ved kronisk belastning fremkalle forandringer i milt, lever og nyre.

De alkylaromatiske hydrokarboners giftvirkninger er undersøkt av Nan og medarbeidere (18). De konkluderer med at disse forbindelser kan forårsake forandringer i blodet som er reversibel hvis belastningen er kortvarig, til forskjell fra bensen som ikke er så akutt toksisk. Ved hudkontakt fremkaller alkylaromatiske hydrokarboner lokale forandringer, og de er irriterende for slimhinner.

Blandinger av hydrokarboner

Toksikologiske data for hydrokarbonblandinger er gitt av Patty og Gleason. Den akutte forgiftning viser et temmelig ensartet bilde, til tross for forskjellig innhold. Den bedøvende virkning inntar en sentral plass blandt forgiftningssymptomer. Grensen mellom bedøvende dose og letaldose synes

å være liten, men dersom forgiftningen ikke forløper fatalt, forekommer det skjelden senvirkninger på sentralnervesystemet.

Organismen tar lettere opp damper av hydrokarboner ved innånding enn gjennom fordøyelseskanalen. Den arbeidshygieniske erfaring har vist at det er bare damper av bensin og petroleum som har praktisk betydning. Dette stemmer med at det bare er damper av de lavere hydrokarboner som har denne bedøvende virkning.

Bensin skulle etter dette være noe mer giftig enn petroleum. Den akutte toksisitet påvirkes ifølge Gleason ikke av additivinnholdet. Szabo (19) angir letaldose for et menneske til 20-40 g bensin, mens 8-10 g utløser brekninger og risiko for opptak i lungene. Szabo beskriver to tilfeller av forgiftninger hos barn, hvor inntakning av 50 og 100 ml medførte døden.

Karani (20) beskriver et tilfelle av langvarig inntak av bensin.

Bensinen ble i 3 år brukt som nytelsesmiddel og forårsaket en perifer nervebetennelse. Man mente forgiftningen skyltes tricresylphosphat-innholdet og ikke tetraetylbleinnholdet. Pasienten brukte 1 liter bensin om uken enten til å drikke eller innånde ved å vete en klut som ble holdt for nese og munn.

Personalet på bensinstasjoner utsettes for relativt lave konsentrasjoner bensin i luften avbrutt av kortere perioder med høyere konsentrasjoner. Det er ikke kjent at dette har forårsaket helseskader.

Den akutte giftvirkning for petroleum kjennes bare fra forgiftninger. Innånding av damper vil normalt ikke forårsake problemer på grunn av det lave damptrykket. Innånding av aerosoler irriterer slimhinner og fremkalle lungebetendelse. Opptakelsen fra fordøyelseskanalen er langsom. Inntatt petroleum kan transporteres via blodet til lungene og forårsake forandringer i disse.

OLJEFORURENSET DRILKEVANN

Akutt forgiftning hos mennesker på grunn av oljeforurensset drikkevann må anses for utelukket da entensyns-, lukt- eller smakssansen vil advare i tide. Tilfeller av tilfeldige forgiftninger på grunn av olje i drikke-

vannet er rapportert på IWSA's kongress i 1964 (13). På en skole i England brøt ut diarré blandt elevene som man mente skyltes smøreolje i drikkevannet fra en pumpe. Ved et tilfelle i Sverige ble et familiemedlem syk etter å ha drukket forurenset vann. Det gjalt en hudsykdom som skyldtes allergi overfor tetraetylbley.

Dyreforsøk er utført for å finne virkning av oljeprodukter. Rotter fikk vann tilsatt opp til 300 mg pr. liter kerosen uten at man fant at dette hadde noen spesiell innflytelse på rottenes organer. Mus ble gitt parafin-olje emulgert i vann, og man fant at dette medførte helseskader. De tilsvarende skader ble ikke registrert når musene fikk oljen uten emulgeringsmiddel.

Zimmermann og medarbeidere (21) har gjort forsøk med rotter for å frem-skaffe materiale til vurdering av mineraloljeforurensning av drikkevann. Rottene ble inndelt i fem grupper, og hver gruppe fikk i 1900 dager følgende tilsetning til drikkevannet:

1. 33 mg "Heizöl EL"/liter
2. 100 mg blyfri bensin/liter
3. 100 mg blyfri bensin + 28 µg blyacetat/liter
4. 28 µg blyacetat/liter
5. uten tilsetning (kontrollgruppe).

Det ble funnet tidligere død blant rottene i alle forsøksgrupper enn i kontrollgruppen. De doser som ble brukt var langt høyere enn et menneske i praksis vil bli utsatt for, idet lukt- og smaksgrensen forlengst var overskredet. Selv om konsentrasjoner over lukt- og smaksgrensen kan forekomme, regner man med at det ikke representerer noen fare for akutt forgiftning. Det antas allikevel at konsentrasjoner under lukt- og smaksgrensen kan forårsake helseskader hos mennesket, dersom føden, fast eller flytende, gjennom en livslang tilførsel er forurenset med mineraloljeprodukter.

Ved American Petroleum Institute (22) ble det i 1956 gjennomført en omfattende litteraturundersøkelse for å få vurdert den helsemessige betydning av små mengder mineraloljeprodukter inntatt via forurenset drikkevann. Det måtte konstateres at det den gang ikke forelå mange data som kunne danne grunnlag for en direkte vurdering. Man benyttet seg derfor

av en indirekte metode ved å vurdere forholdene ut fra erfaringer fra arbeidshygiene og forgiftninger. Det ble konkludert med at doser som kunne inntas gjennom lang tid uten helseskade, lå langt over grensene for lukt og smak. Man mente derfor at det ikke skulle foreligge mulighet for kronisk forgiftning hos mennesker på grunn av forurenset drikkevann.

Det er ikke selve produktene som er skadelige, men tilsetningsstoffene. Bly har allerede vært nevnt. Nærvær av kreftfremkallende stoffer i vann er blitt påvist av Borneff (23) ved en serie forsøk. Det gjalt vann fra Rhinen som inneholdt benzpyrene, benztracene og dibenzantracene. Disse stoffer ble funnet i vann så vel som i det øverste lag av dyrket mark og i støv fra gater og veier. Forsøk med mus viste at den canserogene effekt av benzpyrene i drikkevann forsterkes i nærvær av detergenter.

Tabell 6. Resultater av smak- og luktprøver av forskjellige oljeprodukter i oppløsning 1:1.000.000 ved 18°C.

Produkt	Lukt	Smak
Shell 800 I.P. 919/60	+	-
Shell petroleum I.P. 916/60	+	±
Shell fyringsolje (gas oil) I.P.P. 917/60	+	+
Shell fyringsolje (gas oil) II, I.P. 918/60	+	++
Super Shell I.P. 915/60	+	+
Shell petroleum I.P. 920/60	±	±
1,2,3,4-Tetrahydronaftalen	++	++
o-xylen	+	+
n-dekan	+	+
sej. butylbenzen	+	+
2.2.4-trimethylpentan	±	0
n-oktan	0	0
1-heksen	0	?
n-heksen	0	±
bensin	0	0

++ = sterk; + = klart merkbar; ± = svak; ? = tvilsom; 0 = ikke påvist

Når vann passerer gjennom grunnen, vil det skje en fraksjonering etter molekylvekten av de oppløste stoffene i vannet. Det er derfor mulig at lukt og smak på vannet ikke står i samme forhold til det reelle oljeinnholdet ved direkte innblanding av oljeproduktene i vannet, som etter passasje gjennom grunnen. De flyktige, lettflytende og vannløselige fraksjoner av oljeproduktene skulle derfor ha mulighet til å nå frem til grunnvannet i et slikt forhold til de øvrige fraksjoner at lukt- og smaksgrensene ikke forstyrres vesentlig (24).

Ut fra dette skulle en forurensning med bensin og diesellole, som har lave lukt- og smaksgrenser, bli oppdaget og gjenstand for undersøkelse eller være av en slik størrelsesorden at forurensningen, som normalt er tidsbegrenset, ikke innebærer fare for forgiftning. Andre produkter med høyere lukt- og smaksgrenser kan man få i seg uten at man merker lukt eller smak. Disse produkter er imidlertid ikke så lett løselige i vann som bensin. I praksis vil en forurensning med slike produkter neppe i lengere tid holde seg under lukt- og smaksgrensen i det forurensede område, men før eller senere bli gjenstand for undersøkelse. Det kan medføre at også de deler av området hvor forurensningen ennå ikke er oppdaget ved lukt eller smak, blir sanert.

Den vannløselige del av bensin kan dels bestå av additiver, dels av aromatiske hydrokarboner og eventuelt også av hydrokarboner dannet ved kraking, alkylering m.v. Det er påvist 0,05 mg bly pr. liter vann som følge av bensinforurensning (IWSA). I en kort periode var blyinnholdet oppe i 0,4 mg pr. liter. Blyinnholdet i bensin ligger i området 0,5 - 1 g Pb/l.

Lukt og smak

Meget små mengder av oljeprodukter i drikkevann kan forårsake store lukt- og smaksproblemer. Problemene kan intensiveres ved klorering av vannet. Fenolene i vannet reagerer med fritt klor og danner klorfenoler som har en meget intens lukt. Mens grensekonsentrasjonen for lukt (Threshold odour concentration TOC) for 2-4 diklorfenol ligger på 0.002 mg pr. liter, er den tilsvarende grenseverdi for fenol 1 mg pr. liter (25) I tabell 6 er angitt grenseverdier for lukt for noen oljeprodukter og i tabell 7 er angitt lukt- og smaks karakterer for noen petrokjemiske produkter i fortykning 1 : 1.000.000 med vann.

For mange av oljeproduktenes vedkommende er grensen for lukt så lav at det skal meget komplisert apparatur til for å bestemme så lave konsentrasjoner. Vannets utseende derimot påvirkes av langt høyere konsentrasjoner, gjerne over 10 mg olje pr. liter. Denne konsentrasjon vil også være avhengig av produktets farge. I et tilfelle hvor grunnvannet var forurenset med bensin, var bensinkonsentrasjonen 20 mg pr. liter uten at dette hadde påvirket vannets farge mens bensinlukten var markant. Vann kan forøvrig løse opp hele 149 mg bensin med additiver pr. liter.

Kvalitetskrav til drikkevann

I Verdens helseorganisasjons internasjonale forskrifter for drikkevann er det foruten at drikkevann skal være lukt- og smaksfritt, også fastsatt en øvre grense på 0,01 mg pr. liter for mineraloljeinnholdet. (26). Innholdet av organiske stoffer ekstraherbare med kloroform skal være under 0,2 mg pr. liter og fenolinnholdet lavere enn 0,001 mg pr. liter. Grensen for bly er satt til 0,05 mg Pb pr. liter.

Tabell 7. Luktgrenser for oljeprodukter i vann

	Grensekonsentrasjon for lukt (TOC) mg/liter	
	IWAA, 1964, B 52	Hepple, 1967, 99
Bensin med additiver (petrol)	0,00005	0,00005
Dieselolje	0,0005	0,0005
Thiofenol	0,001	
Bensin (commercial gasoline)		0,005
Petroleum, deodorisert (deodorized kerosene)		0,082
Bensin, test (testpetrol)	0,1	
Petroleum, rå (raw petroleum)		0,1 - 0,5
Brenselolje (heating oil)		0,3 - 0,6
Brenselolje (fuel oil)	0,22	0,5
Smøreolje	0,5	0,5
Motorolje	1	1
Petroleum, raffinert		1 - 2
Fenol	1	
Benzol (benzen)	2	

I de russiske forskrifter for drikkevann (27) har man iallfall hatt følgende verdier for det maksimalt tillatte innhold av oljeprodukter i mg pr. liter:

Benzen (benzol)	0,5
Bly	0,1
Tetraetylblei	0
Bensin	0,01
Petroleum (kerosen)	0,3
Råolje, svovelfri	0,1
Andre råoljer	0,3

Grensen for benzen og bly er fastsatt av toksikologiske grunner, mens øvrige av hensyn til lukt og smak.

I følge de norske kvalitetskriterier for drikkevann skal innholdet av mineraloljer ikke overstige 0,001 mg pr. liter, og i tillegg skal vannet selvfølgelig være uten lukt og smak. Den øvre grense for blyinnholdet er satt til 0,05 mg Pb pr. liter. Disse kvalitetskrav gjelder stort sett bare for vann fra vannverk som forsyner mer enn 1000 innbyggere.

RENSING AV OLJEFORURENSET DRILLEVANN

Hvilke rensertiltak som kan komme på tale etter en oljeforurensning av drikkevannet, vil avhenge av graden av forurensning og hvor store vannmengder som skal renses. Rensertiltak må i hvert enkelt tilfelle vurderes i forhold til muligheten for å skaffe vann fra andre uforurensede kilder.

Foruten at oljen er oppløst i vannet, kan man i tillegg ha emulgert olje i vannet. I emulgert form foreligger oljen svevende i vannet som meget små dråper. Oljedråpene vil adsorberes til hydroksydfnokker som dannes når vannet tilsettes jern- eller aluminiumsalter og kan fjernes sammen med hydroksydene ved dekantering og senere sandfiltrering. Emulgert olje vil kunne fjernes ved filtrering gjennom sand. Det er derfor lite sannsynlig at grunnvann som har passert gjennom sandholdig grunn, kan inneholde emulgert olje.

Når vann som inneholder emulgert olje, passerer et fibrig materiale, har det vist seg at de små oljedråpene i vannet løper sammen til så store

dråper at oljen flyter opp og skiller seg fra vannet. Denne effekt er utviklet industrielt av firmaet ICI som har markedsført kompakte anlegg til å skille olje fra vann.

Emulgert olje i vann vil gjøre vannet uklart (turbid), og i tilfelle av at oljen er farget, vil også vannet være farget. Oppløst olje i vann kan nedbrytes ved å tilsette vannet et oksydasjonsmiddel eller adsorbere til et adsorbsjonsmiddel. Av oksydasjonsmidler kan nevnes permanganat, fritt klor, ozon, ultrafiolett lys.

Permanganat i vannet vil reduseres til brunstein og danner et svart slam som må fjernes fra drikkevannet. Det har vist seg at det frie klorret som tilsettes vannet, reagerer med de organiske stoffene og kan danne klorerte hydrokarboner. Til disse stoffer er knyttet helsemessige betenkeligheter. Man må derfor vente restriksjoner med hensyn til bruk av klor. Apparater for generering av ozon til vannbehandling fins i mange størrelser helt til relativt små enheter. Ved bruk av ozon er det fare for luftforurensning.

Bruk av ultrafiolett lys som oksydasjonsmiddel for vann har hittil vært relativt lite brukt her i landet, og man har derfor liten erfaring med det. Ultrafiolett lys er billig i anskaffelse, enkelt å installere og å bruke og er uten risikomomenter.

Jern- eller aluminiumhydroksyd er ikke effektivt nok som adsorbsjonsmiddel for oppløst olje. Mer effektiv er aktivt kull, og etter kullbehandling kan vannet bli fullstendig smaks- og luktefritt.

Aktivt kull kan enten tilsettes i pulverform og senere filtreres fra, eller man lar vannet passere en filtermasse av granulert kull.

Aktivt kull har for det meste vært fremstilt på basis av trekull. Kull fås som biprodukt fra petrokjemisk industri. Det er i den senere tid utført utviklingsarbeid for å aktivere den og gjøre den anvendelig for vannrensing. Petrokjemisk basert aktivt kull har fått større og større innpass som adsorbsjonsmiddel for drikkevann.

GJELDENDE BESTEMMELSER OM VANNFORURENSNING.

Det er først og fremst i lov av 26. juni nr. 75 om vern mot vannforurensning (Vannvernloven) at det fins regler om vannforurensning. Denne loven har i § 2 en omfattende definisjon av vannforurensning.

I lovens § 4 er tatt med en aktsomhetsplikt for å unngå forurensning av grunnvann, vassdrag og sjøområder med et alminnelig forbud mot vannforurensning som kan medføre skade eller ulempe.

Vannvernloven er den alminnelige lov om vannforurensning. Det fins imidlertid også andre og mer spesielle lover, som har til formål å hindre eller begrense vannforurensning. I denne sammenheng gjelder det særlig lov av 6. mars 1970 nr. 6 om vern mot oljeskader (oljevernloven). Denne loven har sin største praktiske betydning når det gjelder vannforurensning som gjelder olje eller oljeholdig blanding, men omfatter også forurensning av jordsmonnet på grunn av slike utslipp.

Miljøverndepartementet har lagt frem et utredningsnotat, datert mai 1977, med forslag til ny samlet lov om vern mot forurensning og forsøpling. I notatet er også tatt med et kapittel om akutt forurensning (Kapittel 5). Lovregler som spesielt tar sikte på beredskap mot akutt forurensning m.v. er av relativt ny dato her i landet. Med hensyn til akutt vannforurensning har Statens vann- og avløpskontor og Statens Institutt for Folkehelse gitt ut i fellesskap en udatert orientering om: Organisasjon - melding. Mulige forurensningsårsaker og tiltak.

Kapittel 5 i det nye forslaget har regler om akutt forurensning. Reglene grupperer seg om to hovedspørsmål: Beredskap mot akutt forurensning og aksjoner når akutt forurensning inntrer. Reglene i kapittel 5 gjelder også beredskap mot akutt forurensning som følge av uhell ved transport av farlig gods på vei. Kapittel 6 gjelder regler om tiltak mot forurensning og omfatter også forurensning fra veitrafikk. I denne forbindelse vises til at Norge har tiltrådt den europeiske avtale om international veitransport av farlig gods (ADR). Nærmere om dette i St.prp. nr. 66 (1974-75).

Spesielt for drikkevann krever "Forskrifter for drikkevann m.m. og vannforsyningsanlegg" at drikkevann skal være hygienisk betryggende (§ 1). Vannkilder skal være sikret så godt som mulig mot bakteriell forurensning og mot tilsig av skadelige stoffer. Om nødvendig må vannet være rensert på betryggende måte etter helserådets nærmere bestemmelser (§ 2). Vannverk som forsyner mer enn 100 mennesker skal anmeldes til og være godkjent av helserådet. Anlegg som forsyner mer enn 1000 mennesker skal anmeldes og være godkjent av Sosialdepartementet (§ 5).

Sosialdepartementet ved Helsedirektoratet har gitt ut en orientering datert januar 1975, om beskyttelse av drikkevannskilder. Selv om beskyttelsestiltakene gjelder overflatevannkilder, nyttes flere av tiltakene også for grunnvannskilder uten at det er presisert hvilke.

I avsnitt 2.7. Trafikk, kan forbud bl.a. omfatte: totalt forbud mot bruk av motordrevne kjøretøyer og farkoster på vannkilde og i nedbørfelt

- skogsbilveier og andre bilveier skal være stengt for almenheten med låst bom.
- forbud mot anleggelse av bilveier og parkeringsplasser.

Det kan når særlige grunner taler for det (dårlig og sterkt trafikkert vei), forbys å transportere hygienisk betenkelige forbindelser gjennom nedbørfeltet (f.eks. fenol, cyanid).

LITTERATUR

1. Indenrigsministeriets udvalg vedrørende oplag af olie m.v.
Olietanke og beskyttelse af grundvandet. Betænkning nr. 545,
København 1969.
2. Aslyng, H.C.: Klima, jord og vandbalance i jordbruget,
København 1968.
3. Myllie, M.R.J. and Gardner, G.H.F.: The generalized Kozeny-Garman
equation: Its application to problems of multiphase flow in
porous media, part 2. World Oil Production. Sect. V. 146
(1958).
4. van Dam, J.: Die Ausbreitung von Mineralöl in Grundwasserführende
Schichten. Deutsche Gewässerkunde. Mitt. 11, 1, 1967.
5. Bartz, J.: Öl und Benzinversicherungsversuche in der Oberrheinebene,
I, Das Gas und Wasserfach, No. 7, 6, 1966.
6. Ericsson, B. og Weidell, A.: Oljens nedtränging i sand och grus-
materiale. Kungl. Tekniska Högskolan. Publikation 70:4.
7. Zimmermann, W.: Der Einfluss von Mineralölen auf das Grundwasser.
Gewässerschutz, Wasser - Abwasser, 3, 23 (1970).
8. Mull, R.: Modellmässige Beschreibung der Ausbreitung von Mineral-
ölprodukten im Boden.
Heft 15, TU, Hannover (1969).
9. Hoffmann, B.: Dispersion of soluble hydrocarbons in groundwater
stream.
10. Report No. 4174. Inland Oil Spill Clean-up. Manual, Steichting
Concawe, The Hague, August 1974.

11. Federal Ministry of the Interior, Bonn, Federal Republic of Germany.
Working Party "Water and Petroleum". Evaluation and treatment
of oil spill accident on land with a view of the protection of
water resources. December 1970.
12. Bundesministerium für Gesundheitswesen: Gutachten Verhalten von
Erdöl produkten im Boden, Bad Gadesberg, Mai 1965.
13. Zimmermann, W.: Pollution of Water and Soil by Miscellaneous
Petroleum Products.
International Water Supply Association 6. congress,
Stockholm 1964.
14. Beskow, G.: Mineraloljens rørlighet i mark.
PM til Skandinaviska Oljeservice AB.
15. ICI Pollution Control Systems, Flofoil. Oil Water Separation Process.
16. Patty, F.A.: Industrial Hygien and Toxicology, Vol. II, London 1962.
17. Gleason, M.N. et al.: Chemical Toxicology of Commercial Products,
Baltimore 1968.
18. Nan, C.A. et al.: C - C₁₂ Fractions Obtained from Petroleum Destil-
lates. An Evaluation of their Potential Toxicity.
Arc. Envir. Health 12, 382 (1966).
19. Szabo, I.: Akute oreale Benzinvergiftungen. Archiv für Toxekol.
22 207 (1967).
20. Karani, V.: Peripheral Neuritis after Addition to Petrol.
Brit. Med. J. I (5481) 216 (1966).

21. Zimmermann, W. et al.: Untersuchungen zur Frage der Gesundheitsschädlichkeit von Trinkwasser, das mit Mineralölprodukten bzw. Bleiverbindungen verunreinigt ist. Arch. Hyg. 154, 1970, 8-
22. American Petroleum Institute: Final Report to the Water Subcommittee of the API Project PG 49.41, Barlitmore 1956.
23. Borneff, J.: Mäusefütterungsversuche mit 3,4-Benzpyren, Mineraloel und Tensiden.
Archiv für Hygiene 147 28 (1963).
24. McKee, J.E. and Wolf, H.W.: Water Quality Criteria, California 1963.
25. Hepple, P.: The Joint Problems of the Oil and Water Industries.
Institute of Petroleum, Amsterdam 1967.
26. International Standards for Drinking-Water.
World Health Organization, Geneva 1971.
27. Water Supply and Pollution Controll, Vol. 6. Washington 1965.

MIKROBIELL NEDBRYTNING AV OLJE OG OLJEKOMPONENTER

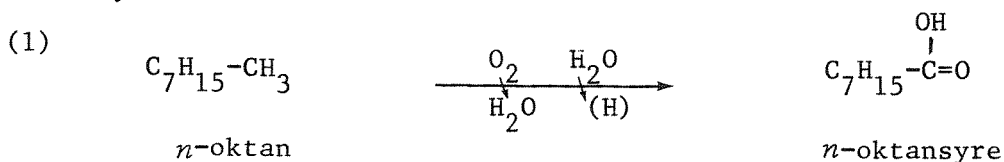
1. NEDBRYTNINGSVEIER

Bare relativt få typer av mikroorganismer kan utnytte hydrokarboner for vekst (1). Metabolsk omsetning av alifatiske og aromatiske hydrokarboner er en aerob prosess; i fravær av O₂ forblir hydrokarbonene fullstendig upåvirket av mikrober. Dette er årsaken til at hydrokarboner innleiret i sedimentære bergarter (oljereservoarer) har forblitt uforandret i millioner av år. Så snart oljen bringes til jordoverflaten og utsettes for luft og mikrober, begynner oksydasjonen av hydrokarbonene, som tilslutt vil nedbrytes fullstendig til karbondioksyd og vann.

De forskjellige metabolske reaksjoner i hydrokarbon-nedbrytningen er ikke fullstendig kjent, men sluttproduktet er vanligvis metabolsk bundet eddiksyre (acetyl-CoA), som så oksyderes videre via organismens normale enzymapparat (trikarboksylysyresyklus) til CO₂ og H₂O. Den hittil mest fullstendige oversikt over mekanismer og produkter ved nedbrytningen av forskjellige typer hydrokarboner er gitt av Van der Linden og Thijsse (2). Selv om den ikke er helt "up to date" i alle detaljer, vil den fremstilling av emnet som gis i det følgende hovedsakelig bygge på denne publikasjonen.

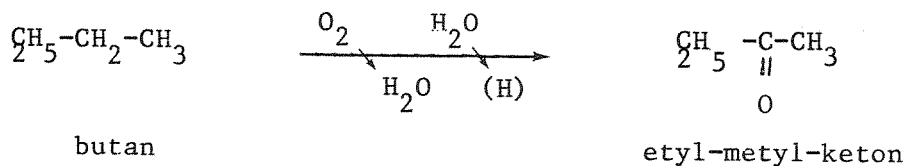
1.1 Alifatiske hydrokarboner

I første reaksjonstrinn ved nedbrytningen av rett-kjedede alifater inngår molekylært oksygen som reaktant, og ett av atomene i oksygenmolekylet innkorporeres i det oksyderte hydrokarbonet i α- posisjon. Prosessen katalyseres av enzymer kalt "mixed function" oksygenaser, som alltid er en nødvendig betingelse for mikrobiell oksydasjon av hydrokarboner. Sluttproduktet etter flere reaksjonstrinn er en fettsyre, som kan omsettes videre av organismen, og det genereres energi i form av redusert hydrogen (H) bundet til coenzymmer :



Oksydasjonen i første trinn kan også skje på karbonatom nr. 2, (β -posisjon), med helt andre følgereaksjoner og produkter som resultat:

(2)

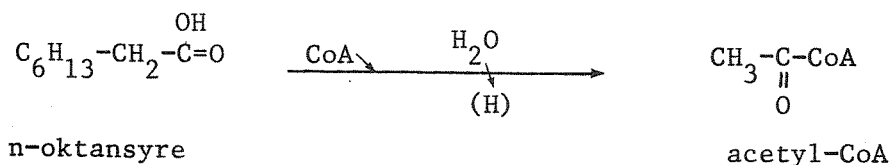


Denne reaksjonsveien er vel kjent for flyktige n-paraffiner ($\text{C}_3\text{-C}_5$), men er trolig av relativt liten kvantitativ betydning. For $\text{C}_6\text{-C}_{11}$ -paraffiner dominerer α -oksydasjonen, mens langkjedede paraffiner er vist å kunne oksyderes i begge ender og gi opphav til α, ω -syrer.

Metan (CH_4) følger ikke dette skjemaet men oksyderes av en del svært spesialiserte bakterier (*Methanomonas*, *Metylobacter* o.a. metanoksyderende bakterier) i nærvær av oksygen. Mellomproduktene metanol, formaldehyd og mursyre kan også oksyderes videre av andre bakterier.

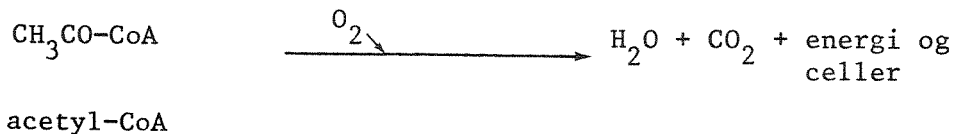
Fettsyrer med mer enn 3 karbonatomer omsettes videre ved fortrinnsvis kløving av bindingen mellom 2. og 3. karbonatom (β -kløving) inntil det meste foreligger som den metabolsk aktive forbindelsen acetyl-CoA. Hver sekvens går over flere mellomprodukter:

(3)



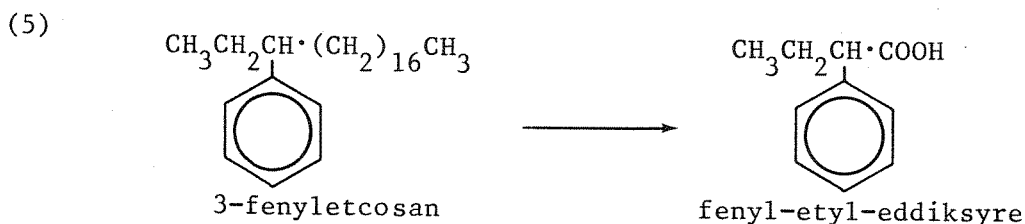
Sluttproduktet omsettes videre i ved normal oksydativ metabolisme til karbondioksyd og vann:

(4)

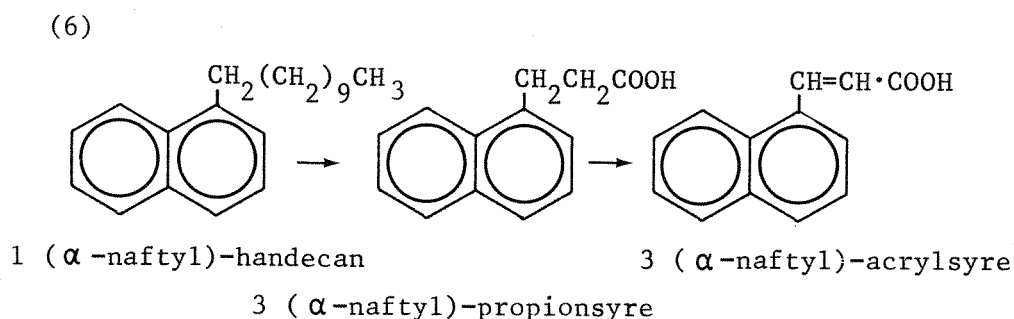


Når avspaltningen når fram til et forgreningspunkt, går den videre oksydasjon svært langsomt, men lettere for β -substituerte syrer enn for α -substituerte.

I alifater med fenyl- eller cycloalkyl-substituent angripes alkylkjeden først ved β -kløving og gir opphav til den korresponderende fettsyren, som vist nedenfor:

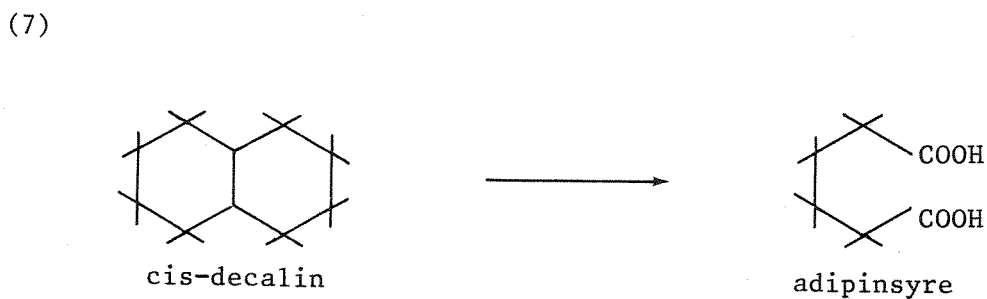


β -kløving i siste ledd kan hindres sterisk av større substituent, som f.eks av en naften-ring:



Umettede alifater (olefiner) som f.eks. hexadec-1-en, nedbrytes fra den mettede enden og gir som mellomprodukt mer kortkjedede, umettede forbindelser. Dobbeltbindingen oksyderes antagelig meget langsomt til de korresponderende peroksyder og alkoholer, men lite er kjent om mekanismer ved nedbrytningen.

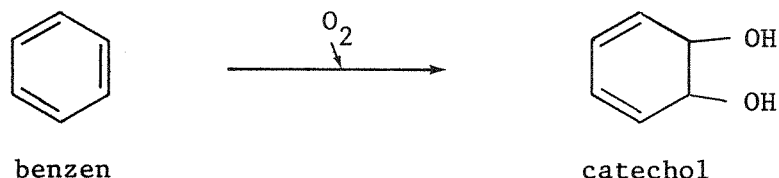
Det samme gjelder cycloparaffiner, som generelt er tungt nedbrytbare. Cyclohexan og cis-decalin oksyderes antagelig til adipinsyre:



1.2 Aromatiske hydrokarboner

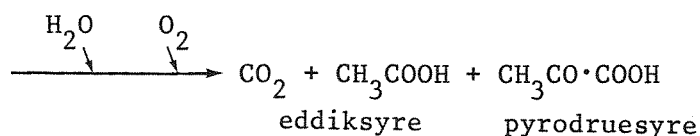
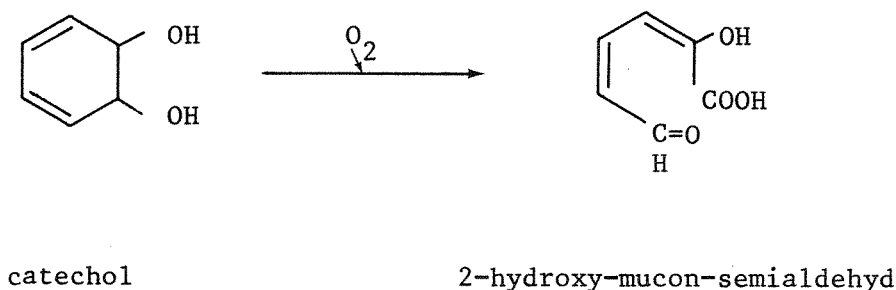
Nedbrytningen av aromatiske hydrokarboner krever også molekylært oksygen, som inkorporeres i ringstrukturen katalysert av oksygenaseenzymer. Benzen oksyderes over et par mellomtrinn til catechol.

(8)



Catechol kan omsettes videre etter en av to reaksjonsveier, som gir forskjellige sluttprodukter. Den minst vanlige katalyseres av enzymet catechol-2,3-oxygenase.

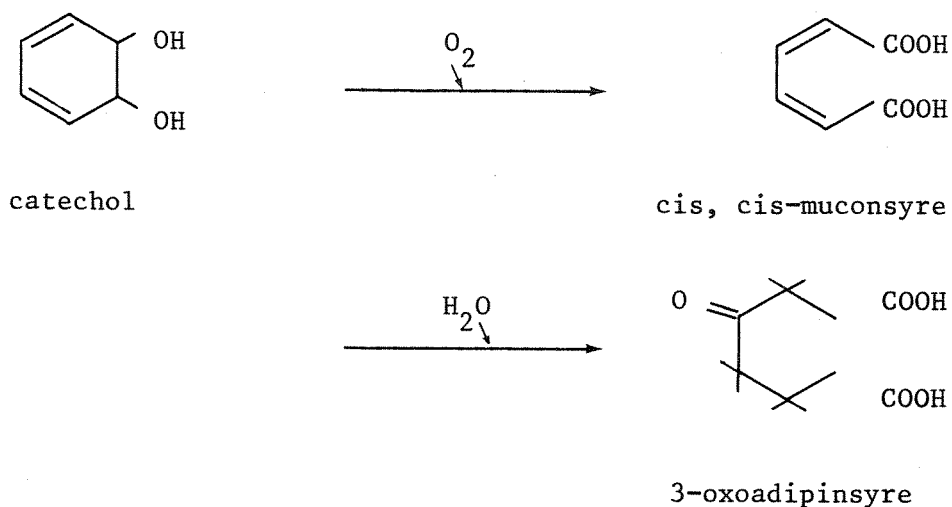
(9)



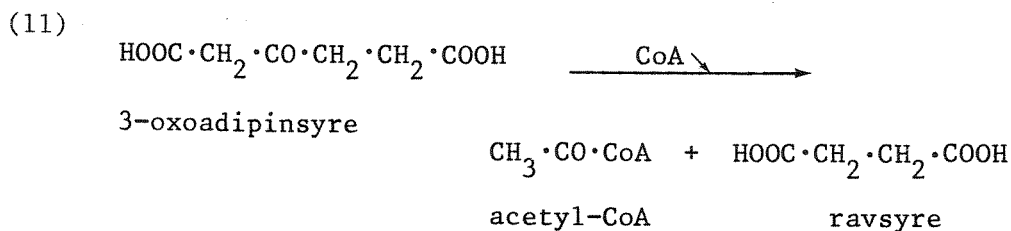
Over et par mellomtrinn omsettes 2-hydroxy-mucon-semialdehyd kvantitativt til karbondioksyd, eddiksyre og pyrodruesyre, og de to siste omsettes videre i den normale oksydative metabolismen. En tilsvarende mekanisme fungerer ved nedbrytningen av naftalen.

Den vanligste nedbrytningsveien for benzen går over cis,cis-muconsyre katalysert av enzymet catechol-1,2-oksigenase og videre omsetning til 3-oxoadepinsyre:

(10)

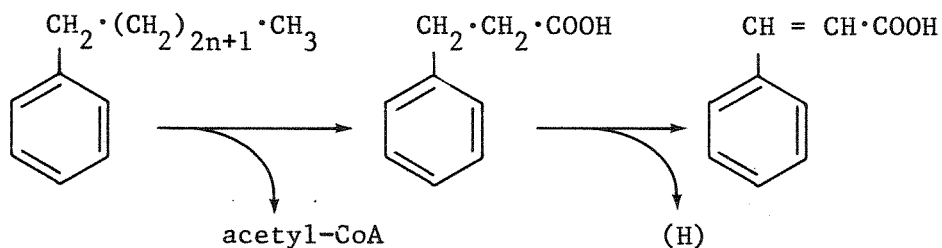


3-oxoadipinsyre omsettes videre enzymatisk til ravsyre og acetyl-CoA, som går inn i den normale oksydative metabolismen:



Nedbrytningen av alkylsubstituerte benzener med odde antall C-atomer i sidekjeden skjer ved β -oksydasjon ned til fenypropionsyre. Flere produkter kan oppstå herfra, men hovedmekanismen er oksydasjon og avspaltning av eddiksyre til benzosyre. Benzosyre fås også ved oksydasjon av toluen:

(12)

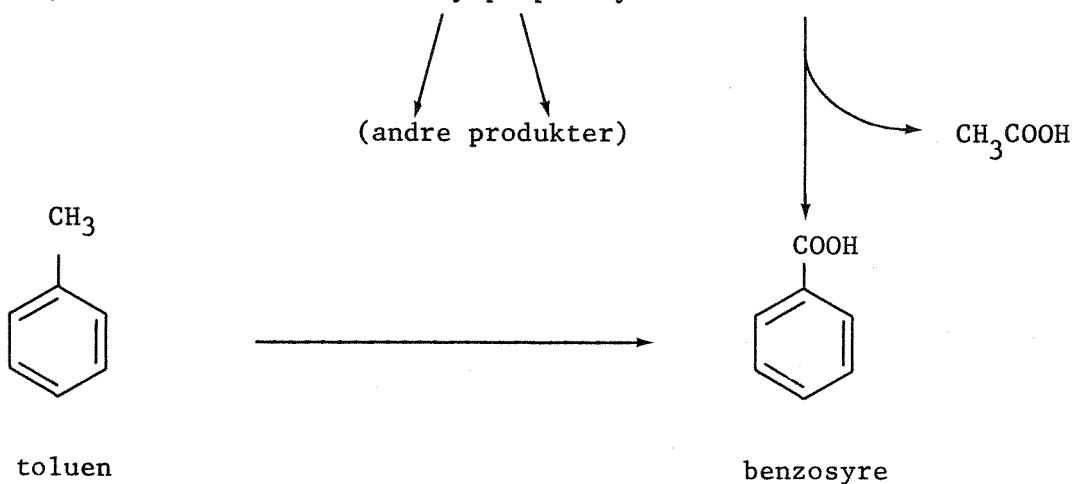


alkylbenzen

fenylpropionsyre

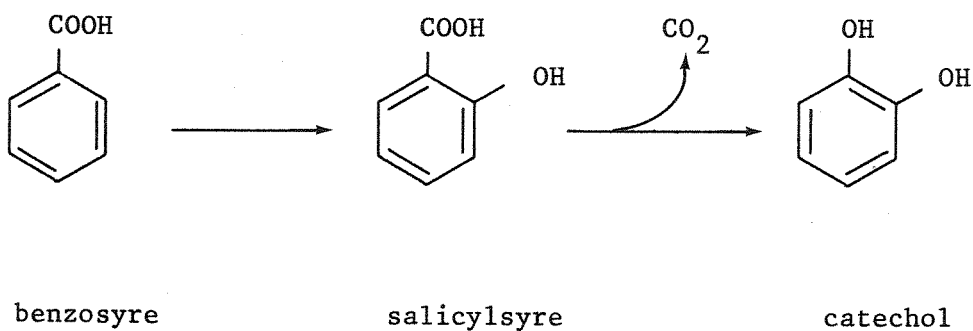
cinnamic acid

(13)



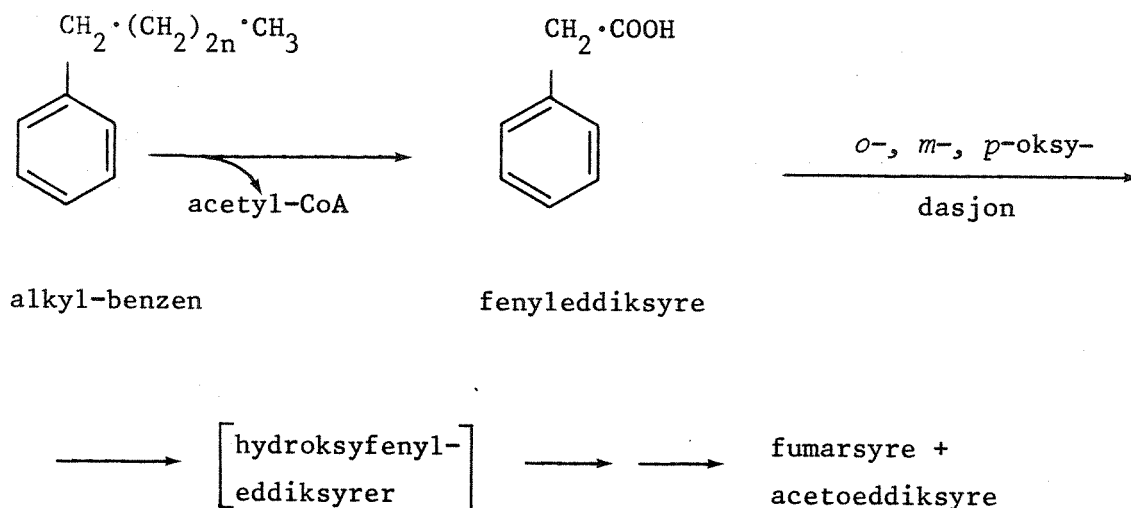
Benzosyren omsettes så videre til salicylsyre ved enzymet benzoat oksidase og videre til catechol og karbondioksyd ved enzymet salicylat hydroksylase:

(14)



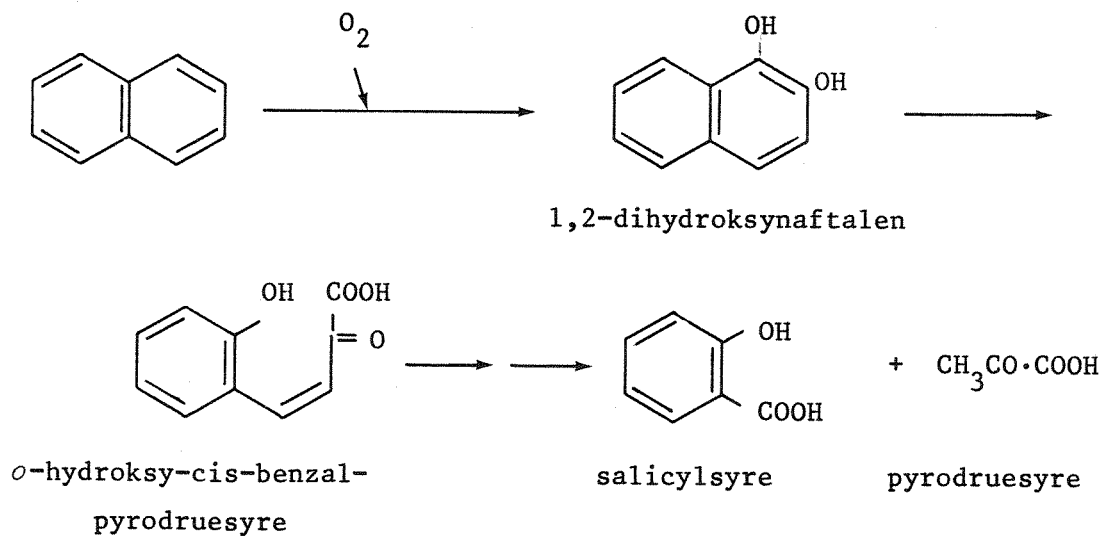
Alkylsubstituerte benzener med like antall C-atomer i sidekjeden følger et annet og mer variert mønster. Sidekjeden spaltes ved β -oksydasjon ned til fenyleddiksyre. De påfølgende reaksjoner som leder til ringåpning er enda lite klarlagt, men går over hydroksylerte fenyl-eddiksyrederivater ned til fumarsyre og aceto-eddiksyre, som så kan omsettes videre i den normale oksydative metabolismen.

(15)

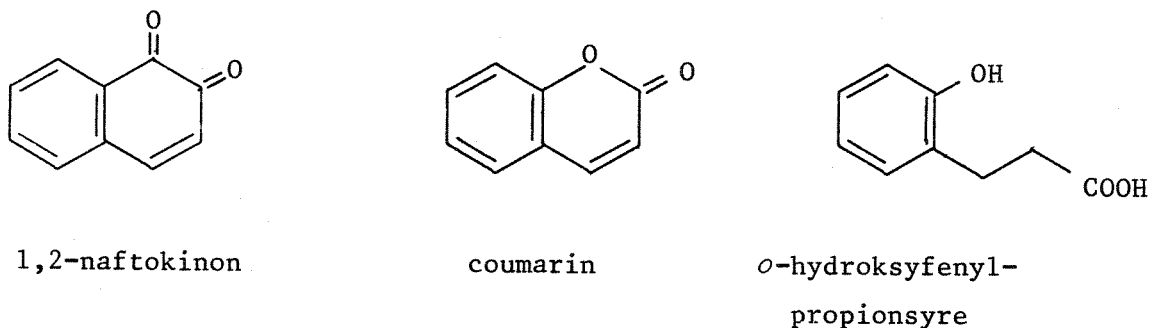


Naftalen nedbrytes via 1,2-dihydroksynaftalen til *o*-hydroksy-cis-benzalpyrodruesyre. Denne spaltes over et par mellomtrinn til salicylsyre, som videreomsettes etter (14), og pyrodruesyre, som inngår i den normale oksydative metabolismen:

(16)



Flere andre naftyl- og benzyl-derivater kan imidlertid også dannes som bi-produkter:



2. NEDBRYTNINGSHASTIGHET

Fullstendig mikrobiell nedbrytning av oljekomponenter i jord er mulig dersom:

- a) Oksygen (luft) er tilgjengelig
- b) Temperaturen ligger innen det fysiologiske området for mikrobevekst (ca. $\pm 10 - +60^{\circ}\text{C}$)

Den hastighet hvorved nedbrytningen skjer er imidlertid svært variabel og influert av en rekke faktorer, hvorav de viktigste skal nevnes i det følgende:

2.1 Hydrokarbonsammensetning

Generelt nedbrytes alifatiske hydrokarboner lettere enn aromatiske, uforgrenede lettere enn forgrenede, lavmolekylære lettere enn høymolekylære og mettede forbindelser lettere enn umettede. Substituerte naftalen- og anthracen-forbindelser er generelt tungt nedbrytbare, men de nedbrytes. Enkelte av disse er kjent som svært kreftfrembringende, og må vises spesiell oppmerksomhet ved kontrollanalyser (3).

2.2 Mikrobesamfunn

Mikroorganismene som deltar i oljenedbrytningen er i stor grad spesialister på et begrenset spekter av strukturelt beslektede forbindelser. Organismene kan igjen ha spesielle preferanser og miljøkrav - som krav til pH og temperatur, tilgang på næringssalter i en bestemt form, vitaminer osv. Da relativt få typer mikroorganismer er involvert i hydrokarbonnedbrytningen, er sannsynligheten stor for at enkelte fraksjoner av f.eks. tungolje omsettes svært langsomt og anrikes i forhold til andre fraksjoner, under ekstreme miljøbetingelser. Aktuelle eksempler på slike betingelser er:

- a) lav temperatur - dvs. under $+ 10^{\circ}\text{C}$
- b) surt jordsmonn - dvs. $\text{pH} < 5$, som er en kritisk verdi for mange bakterier

- c) minerogen jord og grus fattig på organisk jordsmonn, som kan ha mangel på essensielle vekstfaktorer, dårlig næringstatus og en lite variert mikrobeflora.
- d) ekstremt tørr jord - dvs. med vannaktivitet under 0,8 (80% relativ fuktighet i jordluften).

En vet dessverre svært lite om de naturlig forekommende oljenedbryteres miljøkrav og om deres evne til nedbrytning. Erfaring forøvrig - både på land og i sjøen tilsier imidlertid at under normale forhold er det et tilstrekkelig antall organismetyper til stede til at det raskt (i løpet av 2 - 3 uker) bygges opp et høyt potensial for nedbrytning etter et utslipp av hydrokarboner (4, 5). Det synes derfor ikke å være et fruktbart mottiltak å pode utslippet med kunstig oppdyrkede organismer.

Det eksisterer endel målinger av nedbrytningshastigheter for olje i laboratoriekulturer. Disse er imidlertid av liten verdi i praktisk sammenheng, fordi kulturene ikke er representative for naturlig, adaptert populasjon. Fenomener av stor betydning i denne sammenheng er såkalt kometabolisme og kommensalisme, som vist for cyclohexan av Beam og Perry (6). Kometabolisme innebærer at en organisme lettere og raskere omsetter cyclohexan når den i tillegg får glykose, som er lett omsettelig. Kommensalisme innebærer at en organisme utfører første trinn i oksydasjonen, f.eks. cyclohexan til cyclohexanon, som så kan oksyderes videre av andre organismer.

2.3 Temperatur

Temperaturen er vist å ha stor betydning for nedbrytningshastigheten (7, 8). Ved feltforsøk i Canada er det vist at det i teleperioden skjer liten eller ingen nedbrytning av olje. Ved høst- og vårtemperaturer på 0-10°C vil hastigheten i jord være betydelig redusert i forhold til sommertemperaturer på 15-25°C. (Lav temperatur har relativt mindre betydning i sjøen, hvor kuldeelskende (psykrofile) mikroorganismer er vanlige i stort antall på grunn av stabile, lave temperaturer.)

2.4 Næringsalter

Jordens næringsstatus er av svært stor betydning for nedbrytningshastigheten. Olje er svært fattig på nitrogen (N) og fosfor (P), som mikrobenes trenger i tillegg til karbon (C) for oppbygging av cellemateriale (forholdstall på molbasis ca. 100 : 10 : 1 for C, N og P). For raskt å kunne øke sitt oljenedbrytningspotensial, må organismene ha tilgjengelig N i form av ammonium eller nitrat og av fosfor i form av fosfat. Dersom jordens næringsstatus er dårlig, vil tilgjengeligheten av N og P begrense nedbrytningshastigheten. Denne kan da stimuleres effektivt ved bruk av fullgjødsel (4, 9). Det er også utviklet fettløselige N- og P-forbindelser som vil vandre sammen med og løst i oljen, idet denne trenger ned i jordsøylen (10). Nedbrytningen kan da foregå effektivt ved infiltrasjon i hele den aerobe del av jordsøylen (over grunnvannstand).

En planmessig oppbygging av jordens næringsstatus i risikozonen samt en beredskap med gjødsling av forurenset mark etter mekanisk oppsamling, vil derfor effektivt kunne øke nedbrytningshastigheten for gjenværende oljekomponenter.

2.5 Naturlig nedbrytningshastighet

Det synes å eksistere svært få kvantitative data over nedbrytningshastigheter for oljekomponenter i jord under naturlige forhold (4, 8, 11). Modellforsøk utført i Norge under de aktuelle betingelser og med de aktuelle jordtyper er her nødvendig for å gi bedre holdepunkter til en sikker vurdering. Følgende verdier for råolje kan anslås ut fra de foreliggende rapporter:

Nedbrytningshastighet (10°C): 0,04-0,09 gram olje/ m^2 dag.

Halveringstid etter enkeltdose ($10-20^{\circ}\text{C}$): Fra 2-3 måneder og opp til 1-2 år.

2.6 Vannoppløselighet

Et viktig generelt trekk ved mikrobiell nedbrytning av olje, er at oljekomponentene omdannes fra vannuløselige til vannløselige, polare forbindelser (se avsnitt 1). Det dannes samtidig molekyler som kan fungere

som detergenter (med en hydrofil og en lipofil ende), og som bevirker en emulgering av den vannuløselige fraksjonen (12, 13). Dette fremmer også den mikrobielle nedbrytningshastigheten.

3. LITTERATUR

1. T.B. Brock (1974): The Biology of micro-organisms, 2nd ed. Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 852 s.
2. A.C. van der Linden og G.J.E Thijsse (1965): The mechanisms of microbial oxidations of petroleum hydrocarbons. Adv. Enzymol. 27:469-545.
3. C.E. ZoBell (1972): Sources and biodegradation of carcinogenic hydrocarbons. 2nd Oil Poll.Conf., USA pp. 441-451.
4. W. Verstraete, R. Vanlooche, R. De Borger og A. Verlinde (1976): Modelling of the breakdown and the mobilization of hydrocarbons in unsaturated soil layers. Proc. 3rd Int. Biodegr. Symp., pp 99-112. Applied Sci. Publ., London.
5. J.G. Jones og M.A. Edington (1968): An ecological survey of hydrocarbon-oxidizing micro-organisms. J. Gen. Microbiol. 52:381-390.
6. H.W. Beam og J.J. Perry (1974): Microbial degradation of cycloparaffinic hydrocarbons via co-metabolism and commensalism. J. Gen. Microbiol. 82:163-169.
7. D.W.S. Westlake, A. Jobson, R. Philippe og F.D. Cook (1973): Biodegradability and crude oil composition. Can. J. Microbiol. 20:915-928.
8. R.M. Atlas (1975): Effects of temperature and crude oil composition on petroleum biodegradation. Appl. Microbiol. 30:396-403.
9. A. Jobson, M. McLaughlin, F.D. Cook og D.W.S. Westlake (1974): Effects of amendments on the microbial utilization of oil applied to soil. Appl. Microbiol. 27:166-171.
10. R.M. Atlas og R. Bartha (1973): Stimulated biodegradation of oil slicks using oleophilic fertilizers. Envir. Sci. Techn. 7:538-541.

11. R. Johnston (1970): The decomposition of crude oil residues in sand columns. *J.mar.biol. Ass. U.K.* 50: 925-937.
12. J.E. Zajic, B. Supplisson og B. Volesky (1974): Bacterial degradation and emulsification of No. 6 fuel oil. *Envir. Sci. Techn.* 8:664-668.
13. A. Jobson, F.D. Cook og D.W.S Westlake (1972): Microbial utilization of crude oil. *Appl. Microbiol.* 23:1082-1089.