Langhullsboring

Norges vassdrags- og energidirektorat
2003

Rapport nr 2/03

Langhullsboring

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Redaktør:

Forfatter: Arne Rognes, Magne Skog og Pål Henriksen, Statkraft Grøner

Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag: 50
Forsidefoto: Statkraft Grøner
ISSN 1501-2832
ISBN: 82-410-0478-4

Sammendrag:

Langhullsboring (pilot og opprømming) har blitt brukt i mange år til boring av sjakter og mikrotunneler. Teknikken har sitt utspring i gruveindustrien (”raiseboring”) og oljeindustrien (”rotasjonsboring”). Det er mulig å bore med retningsstyring ved lange hull.

Langhullsboring medfører reduserte naturinngrep sammenlignet med tradisjonell tunneldrift. Forutsatt at rett utstyr er tilgjengelig kan også prosjekter gjennomføres raskere i noen tilfeller. Ved små tunneler og sjakter vil også kostnadene kunne bli mindre enn for store tunneler.

Det er grenser for hvor langt det kan bores. Dette har sammenheng med fysiske begrensninger ved utstyret, men også tilgjengeligheten til det rette utstyret og adkomstforholdene kan sette praktiske hinder for lange borehull.

Emneord: Langhullsboring, pilothull, opprømming, mikrotunnel, raiseboring, rotasjonsboring

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Juli 2003

INNHOLD

Forord *4*

1. INNLEDNING *5*

2. GENERELL TEKNOLOGI *6*

2.1 Generelt **6**

2.2 Pilotboring **7**

2.3 Opprømmingsmetoder **7**

2.4 Boreprotokoll **13**

2.5 Retningsavvik, -kontroll og -korrigering **13**

2.6 Instrumentering **14**

2.7 Sikring **16**

3. UTFØRELSE *17*

3.1 Forundersøkelser og planlegging for anbud **17**

3.2 Entreprenørens planlegging og gjennomførelse **18**

3.3 Adkomst til påhuggssted **18**

3.4 Borehull **19**

3.5 Opprømming **20**

3.6 Borelengder **20**

4. EKSEMPLER PÅ UTFØRTE BORINGER *21*

4.1 ”Raiseboring” **21**

4.2 Rotasjonsboring **21**

5. PROBLEMFELT *22*

5.1 Problemer med prosjekttypen **22**

5.2 Begrensinger ved metoden **22**

5.3 Arbeidsproblemer **22**

6. KONTRAKTSMESSIG FORHOLD *23*

6.1 Risiko og ansvarsfraskrivelse **23**

6.2 Entreprise- og kontraktsmessig forhold **23**

7. KOSTNADER *25*

7.1 Rigg, drift og nedrigg **25**

7.2 Kostnader **25**

8. KONKLUSJON OG FRAMTIDSUTSIKTER *27*

9. FIRMAER *28*

FORORD

NVE er de siste par år tilført midler for å støtte FoU-prosjekter med formål å utvikle teknologi og kunnskap for en mer effektiv utnyttelse av små vannkraftressurser. Midlene kan også benyttes til FoU-prosjekter innen opprusting og utvidelse av eksisterende større vannkraftverk eller til øvrige prosjekter for bevaring og videreutvikling av norsk vannkraftkompetanse.

De fleste prosjektene som er støttet er utført av konsulenter eller utdanningsinstitusjon (NTNU) på oppdrag fra NVE.

Denne rapporten er en av mange som er et resultat av disse bevilgningene.

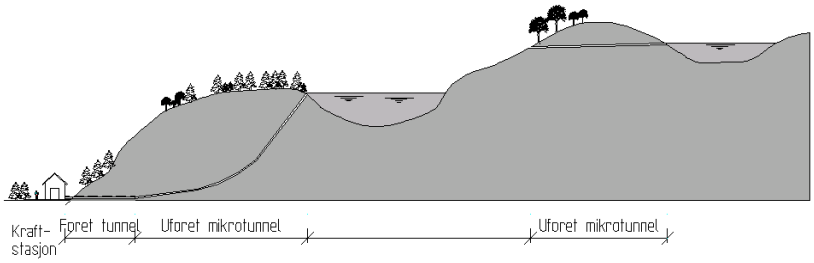
Oslo, august 2003

Marit Lundteigen Fossdal
avdelingsdirektør

Torodd Jensen
seksjonssjef

1. INNLEDNING

Denne rapporten omhandler langhullsboring (pilot og opprømming). Langhullsboring ble først benyttet av gruveindustrien til boring av sjakter. Senere ble metoden også benyttet i forbindelse med boring av sjakter for inntak av bekker og trykksjakter foran kraftstasjonen. I de senere år benyttes også Langhullsboring til mindre tilleggsoverføringer til eksisterende og nye kraftverk.



Figur 1 Eksempel på boring av overføringstunnel og sjakt.

Bruk av langhullsboring kan gi mulighet for bl.a.:

- Utbygging av overføringer med vanskelig adkomst
- Reduserte utbyggingskostnader
- Reduserte naturinngrep
- Økt regulering av magasin uten for store inngrep
- Kort byggetid og rask ferdigstillelse
- Kan redusere tverrsnittet i forhold til sprengt tunnel med ca. 40-50%, når de hydrauliske forhold er utslagsgivende

Selv om langhullsboring i en del tilfeller er godt egnet, er det viktig å være oppmerksom på de tekniske problemer og den økonomiske risikoen prosjektgjennomføringen kan innebære. I denne rapporten er det er lagt vekt på følgende forhold:

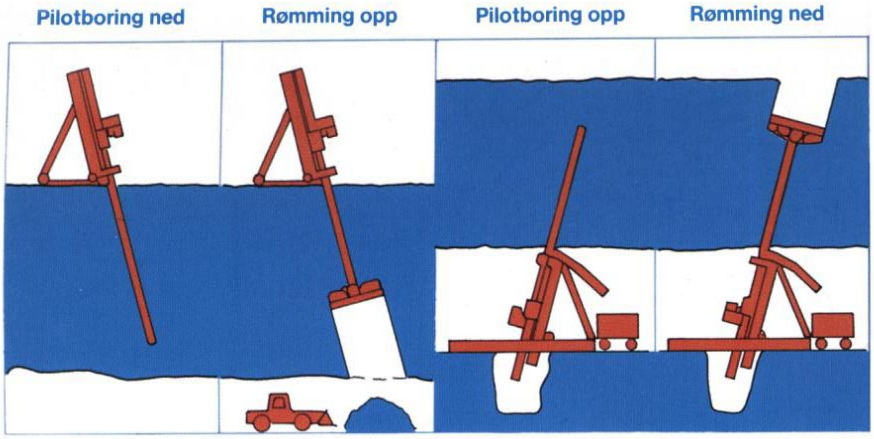
- Beskrivelse av boreteknologi
- Utførelse
- Erfaring fra utførte prosjekt
- Problemer med gjennomføringen
- Kontraktsmessige forhold
- Kostnader
- Muligheter i fremtiden
- Firmaer som driver med langhullsboring i Norge

Rapporten har fått tittelen ”Langhullsboring”. Teknikken med pilot og opprømming er aktuell både til sjakter og tunneler. For selve borehullet vil nødvendige forundersøkelser, vurderinger mv med tanke på langhullsboringens aktualitet være de samme uansett om boringen gjelder sjakt- eller tunnelboring.

2. GENERELL TEKNOLOGI

2.1 Generelt

Langhullsboring (pilot og opprømming) kan benyttes til sjakter og mikrotunneler. Eksempler på sjaktboring er vist i figur 1.



Figur 2 Sjaktboring med pilot og opprømming. Det er mulig å bore ovenfra eller nedenfra.
Kilde Entreprenørservice.

Det finnes per i dag 2 alternative metoder for boring av pilot:

- Rulleborekrone
- Kjerneboring

Det finnes hovedsakelig 3 alternative opprømmingsmetoder:

- ”Raiseboring”
- Rotasjonsboring (nordsjømetode)
- Slaghammer

Fjernstyrt fullprofilboring kan være et alternativ i en del tilfeller, men det har vært lite brukt i Norge.

Under boring er det vanlig å kontrollere boringen for retningsavvik. Eventuell korrigering av retningen krever at man benytter utstyr som har mulighet for korrigering. Under boringen, eventuelt etter, kan borehullet ved behov sikres mot vannlekkasjer og utrasinger. Det er ikke vanlig å gjøre dette ved boring over korte strekninger (da bores heller et nytt hull).

2.2 Pilotboring

2.2.1 Rulleborekrone

En rulleborekrone presser kuttere mot fjellet og sliter det ut. Rulleborekroner er vanlig i bruk i kombinasjon med alle de tre opprømmingsmetodene som er nevnt i kap 2.1. og kan settes på forskjellige borerigger og stanglengder. Rulleborekroner kan brukes med og uten utstyr for retningsstyring.

2.2.2 Styrt kjerneboring

Styrt kjerneboring utføres ved at normal kjerneboring korrigeres ved hjelp av et boreutstyr som kan bore i kurver. Dersom innmålingenen av borehullet viser avvik, kan retningen korrigeres med et boreverktøy som føres inn separat i borhullet. Normalt bores bare en liten andel av borehullet med dette korreksjonsutstyret. For å kunne utføre korreksjonen i riktig retning, er et orienteringsinstrument integrert i systemet. Hulldiametre fra 54 mm til 76 mm er normalt.

En fordel ved kjerneboring er den kontinuerlige kjernefangsten for geologisk vurdering. Den lille borediameteren kan til gjengjeld gi raske vinkelendringer som kan gjøre opprømming vanskeligere. Selve kjerneboringsteknikken benyttes kun til å lage pilot. Opprømming utføres i flere operasjoner der kjernehullet blir rømmet opp med senkhammer eller rotasjonskrone påmontert styreguide (”raiseboring”). Kjernehullet rømmes først opp til 250 - 300 mm. Dette gir rom for en solid borestreng til bruk for opprømmingskronen. Kjerneboring kombinert med ”raisebore”-utstyr har på denne måten blitt brukt til å bore horisontale hull.

2.3 Opprømmingsmetoder

2.3.1 ”Raiseboring”

Utgangspunktet for ”raisebore”-metoden er boring av sjakter i gruveindustrien for ventilasjon og styrt-sjakter. Først bores ett pilothull ovenfra med liten diameter og deretter rømmes hullet opp nedenfra til ønsket diameter (utstyret står oppe). Derav kommer navnet ”raiseboring”. En slik fremgangsmåte krever adgang til både topp og bunn av borehullet. Samme borerigg og borestreng benyttes til pilot og opprømming. Det er bare krona som skiftes. Ved ”raiseboring” er det i utgangspunktet ikke mulig å styre retningen. Dette kan løses ved å benytte kjerneboring først og deretter mellomopprømming til normal pilothullstørrelse. En viss kontroll med retningen kan man også få ved å sette inn stabilisatorer i borestrengen.

Raise-boring har senere blitt utviklet til å kunne bore nedenfra og til å bore mikrotunneler. Metoden har begrensninger på lengde (600 meter på sjakt og 550 meter på tunnel). Dette har sammenheng med problemer med overføring av rotasjonsmomentet for selve boringen, samt ekstra slitasje på utstyret. Til gjengjeld kan det bores med store diametre. Boreutstyret består normalt av:

- Borerigg
- Borekroner, borerør og styringssystem
- Hydraulaggregat

- Vannpumpe og lensepumpe
- Kraftaggregat for drift av borerigg og spyling
- Eventuelle stabilisatorer for retningsstyring

Normal stanglengde for ”raiseboring” er kort (1-2 meter) og tunge.

Figur 3 Borerigg for ”raiseboring” i sjaktposisjon.

Ved å bore pilot og opprømming med utstyret plassert oppe vil pilotmassene havne i øvre ende av sjakt/tunnel og opprømmingsmassene vil havne i nedre ende.

Figur 4 Borekrone for opprømming med ”raiseboring”.

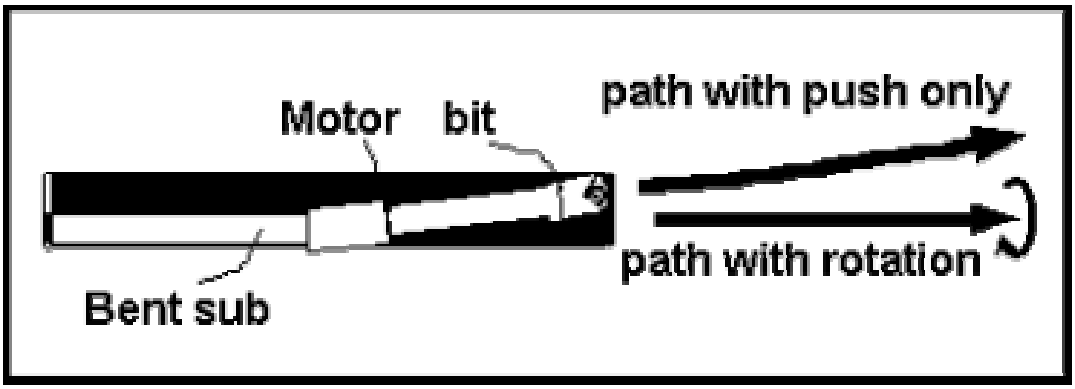
”Raisebore” kronene har sin opprinnelse i sjaktboring der sjaktdiameteren kan være stor; opptil 5 meter. Kutterene er her tosidig opplagret med en gjennomgående aksling.

2.3.2 Rotasjonsboring (nordsjøteknologi)

Det er også bygget borerigger som er basert på nordsjøteknologi. Det vil si at alt utstyr som i dag brukes av oljevirksomheten kan også brukes på land. Rotasjonsboring har blitt brukt på hull med lange lengder (opptil 2 km i USA). Rotasjonsboring ligner mye på ”raiseboring”, men utstyret er litt annerledes.

Borestrengen settes sammen av rulleborekroner som igjen drives av en nerihullsmotor som får kraft fra veskestrømmen som pumpes ned i borestrengen. Omdreiningshastigheten er 40-60 omdreininger per minutt. Det er rotasjonskraften som kommer gjennom motoren. Matekraften kommer gjennom borestrengen. Over motoren sitter måleinstrumentet som måler vinkel og kompassretning. Måleinstrumentet kommuniserer med overflaten enten gjennom kabel eller pulssignaler i veskestrømmen. Normal stanglengde for rotasjonsboring er 5-10 meter. Dette gir en veldig stor og tung rigg.

Med rotasjonsboring kan pilothull i dimensjon 200 mm til 300 mm etableres direkte. Pilothullet etableres i en operasjon uten bytte av verktøy. I slitende bergarter må det regnes inn bytte av borekrone. I harde bergarter brukes rulleborekrone med innsatte hardmetallstifter. Rett bak borekronen er en vanndrevet motor plassert slik at borekronen kan rotere uavhengig av borestrengen. Et bend er plassert mellom motoren og kronen. Bendet gir sidepress på borekronen. Når borestrengen skyves frem uten rotasjon presses borekronen inn i en kurve. Dersom borestrengen roteres mens den skyves frem utlignes sidepresset på krona til alle sidene og hullet bores rett frem. Bak motoren er et instrument som sender signal til operatøren om hvilken posisjon krona presses mot. Med måledata fra samme instrument beregnes hullbanen.



Figur 5 Prinsipp for styring med motor plassert bak kronen.

Opprømming utføres med samme borerigg og borestreng som ved ”raiseboring”. Opprømmingskronen har imidlertid utspring fra en annen del av bergindustrien. ”Splitt bit” er en modifikasjon av rulleborekrone der kuttere med ensidig lager er plassert rundt en guide. Kronene bygges i ulike størrelser normalt opp til 1,0 meter.

Rotasjonsboring er i utgangspunktet tilpasset hulldiametre som er mye mindre enn ”raiseboring”. Innen styrt boring overlapper de to boreprinsippene for hulldiametre fra 0,6 meter til 1,5 meter.

Figur 6 Opprømmingskrone basert på ”splitt bit” til rotasjonsboring.

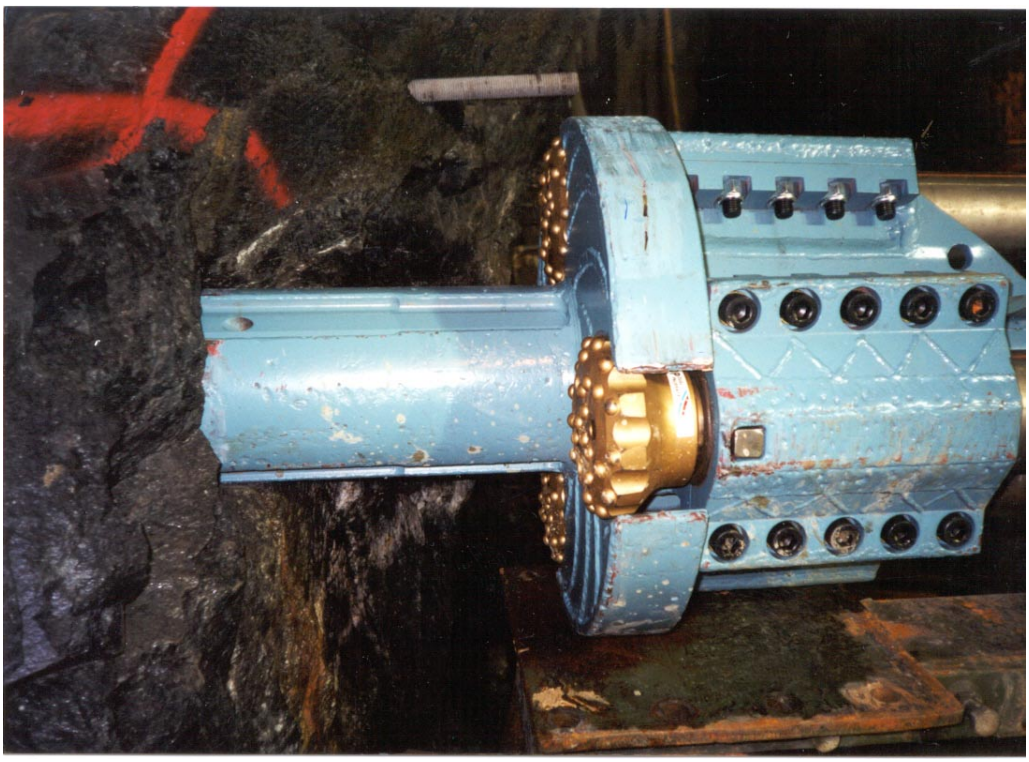
Figur 7 Borerigger for rotasjonsboring er per i dag omfattende konstruksjoner.

Figur 8 Utstyr for rotasjonsboring fraktes på trailer og er vanskelig transportabelt i fjellet.

Kilde for bilder på denne side er Drillteknikk.

2.3.3 Slaghammer

Ved opprømming med slaghammer settes flere hammere sammen i en ring og metoden kalles derfor også for klusterboring. Opprømming med hammerboring er under utvikling. Det er utført direkte opprømming fra 250 til 700 mm på en 200 meter lang strekning. Prinsippet for metoden er overføring av energi gjennom vann med høyt trykk. Energien omsettes til slag i hamrene som bryter berget. Fordelen med klusterboring er mindre matekraft og rotasjonskraft. Det er derfor mulig å rømme til større diameter med mindre maskin og borestreng sammenlignet med rotasjonsboring. Nødvendig matekraft for opprømming med slaghammer er ca ¼ av det som er nødvendig for rotasjonsboring ved samme hulldiameter. Rotasjonshastigheten er omtrent halvparten av hastigheten for rotasjonsboring. Slaghammerteknikk er særlig godt egnet i hardt fjell. Med andre boreteknikker kan det være nødvendig å sette ned hastigheten på utstyret når fjellet er veldig hardt. Slaghammerteknikken fungerer imidlertid minst like bra ved hardt fjell som ved mindre hardt fjell.



Figur 9 Opprømming med hammerboring (500 mm). Piggene treffer fjellet omtrent 40 ganger i sekundet.

Slaghammerteknikken er basert på utstyr som er lett sammenlignet med rotasjonsboring. Samtidig er det egnet for å bore lenger hull enn ”raiseboring”. Ved boring av tilleggsoverføringer med vanskelig adkomst er derfor slaghammerteknikken veldig aktuell. Teknikken er imidlertid lite utprøvd og det kreves også at det er borerigger tilgjengelig som er tilpasset helikopterflyging eller transport i terrenget.

2.4 Boreprotokoll

Det skal føres kontinuerlig nøyaktig borehullsprotokoll under boringen for å ha kontroll og dokumentasjon av:

- Fremdrift
- Slepper som kan medføre ustabilt borehull, tap av spylevann mv.
- Matetrykk, rotasjonstrykk/hastighet samt penetrasjonshastighet

2.5 Retningsavvik, -kontroll og -korrigering

Under boringen oppstår det ofte retningsavvik i forhold til den planlagte boretrase.
De viktigste årsakene til boravvik er:

- Lagdeling og vekslende hardhet i berget (boret tenderer til å gå vinkelrett på lagene).
- Tilstanden til boreutstyret
- Borestrengens oppførsel i borehullet
- Ansett og påhuggsfeil

Bergets lagdeling og egenskaper er det oftest lite å gjøre med når plasseringen av tunnel/sjakt er bestemt. De andre forholdene påvirkes av følgende faktorer:

- Borepersonellets kunnskap og erfaring
- Kontroll med boringen
- Lengde og diameter på stabilisatorpakken
- Nøyaktighet ved påhugg
- Matekraft og rotasjonshastighet
- Vedlikehold av boreutstyret

Boreavviket øker normalt lineært med borehullets lengde. På grunn av tyngdekraften blir avviket i utgangspunktet størst i vertikalretningen. Men det er på den annen side lettere å korrigere avvik i vertikalen. Med egnet måleutstyr kan borehullets posisjon under boringen kontrolleres både i x, y og z-retning. Enkelte målemetoder for retningskontroll kan benyttes mens borestrengen er i hullet, mens andre kun kan benyttes etter at borestrengen er trukket ut av hullet. Etter at posisjonsbestemmelsene er gjort kan eventuelt boravvik korrigeres.

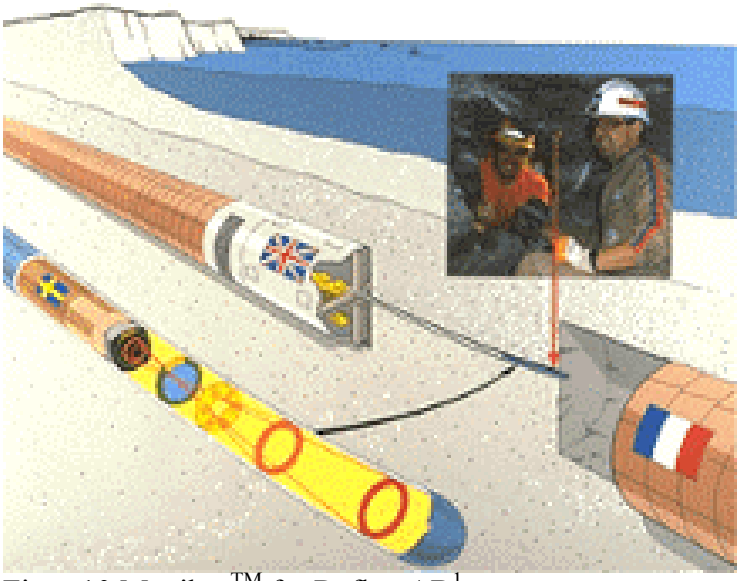
2.6 Instrumentering

2.6.1 Nøyaktighet

Instrumenter basert på akselerometer og magnetometer har en instrumentnøyaktighet inntil 0,15 grad for azimuth (kompassretning) og tilsvarende for inklinasjon (stigning).
0,15 grader tilsvarer 25 cm avvik på 100 meter borehull. I tillegg til instrument-avvik vil naturlig avvik i det magnetisk feltet (deviasjon) påvirke nøyaktigheten av innmåling i horisontalplanet. Avvikende magnetfelt kan korrigeres ved hjelp av uavhengige posisjonsmålinger i borehullet.

2.6.2 Alternative måleprinsipper

I borehull med egnet størrelse kan bruk av optisk vinkelmåler som eks. Maxibor fra Reflex være et alternativ. Dette instrumentet er brukt i forbindelse med kjerneboring der passformen er gunstig.

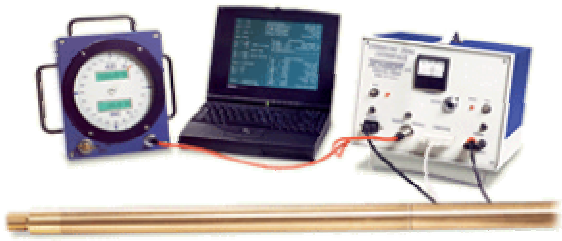


Figur 10 Maxibor™ fra Reflex AB[1]

Gyrosystemet er basert på en roterende skive som føres ned i hullet. Det måles avvik fra sentripetalkraften som angir retningsendring. Systemet er mindre avhengig av å følge eksakt passform i borehullet og kan benyttes i de fleste grunnforhold. Det er ikke ømfintlig for kilder til magnetiske forstyrelser, men kan ikke brukes under boring. For retningsstyrt boring vil gyrosystemet være best egnet som tilleggskontroll av mer robuste systemer.

[1] http://www.reflex.se/maxibor.html

2.6.3 Elektronisk retning og fall måling (MGS)



Figur 11 Tensor posisjonsutstyr for måling under boring[2]

Instrumentet måler magnetisk nord samt inklinasjonen. Ut fra disse parametrene blir hullbanen mellom målestasjonene i hullet beregnet. Avstanden mellom stasjonene blir valgt ut fra krav til nøyaktighet og praktiske forhold. Normalt er avstanden mellom tre og ti meter. Stål og magnetiske mineraler kan påvirke instrumentet og gi upålitelige målinger. I tillegg må lokal missvisning mellom magnetisk nord og sant nord korrigeres. Ved manipulasjon av magnetfeltet kan instrumentet brukes til å koordinatbestemme instrumentet i grunnen direkte. Denne metoden kan benyttes der terrenget tillater etablering av en ledersløyfe for strøm. Med denne metoden kan missvisning og drift i magnetfelt korrigeres ned til 50- 60 meters dyp. I enkelte tillfeller har en kunne bruke dette oppsettet ned til 80 meter. Metoden er beskyttet med lisens under navnet ”Trutrak”.

Figur 12 Trutrak prinsippskisse.

[2] http://www.tensorproducts.com/default.htm

2.7 Sikring

Fjell er ikke et homogent materiale og kan by på varierende forhold i borehullstraseen. Det kan derfor være aktuelt å utføre sikringsarbeider i borehullet for å unngå:

- Ras eller utfall
- Uønskede vannlekkasjer

Sikring av borehull utføres ved:

- Injisering av berget rundt hullet
- Utforing av hullet med inntrukket rør
- Gjenstøping av den del av hullet som er ustabilt og ny oppboring

Injisering skjer med spesialtilpasset sementbasert velling eller kjemiske injiseringsstoffer.

Utforing av borehullet skjer ved å trekke rør gjennom hullet etter at det er ferdigboret. Hulrommet mellom rør og borehullveggen kan injiseres. Til foring kan PE-rør, stålrør eller lignende benyttes.

Gjenstøping av den del av borehullet som er ustabilt gjøres ved å trekke opp boreutstyret og støpe igjen den del av hullet som er ustabilt. Deretter bores det gjennom den herdete betongen.

Boreprotokollen vil være til god hjelp for å vurdere hvilke sikringstiltak som skal benyttes.

Hvis det forekommer stabilitetsproblemer i korte hull bores nytt hull.

3. UTFØRELSE

Et godt resultat er avhengig av en grundig planlegging og analyse av boreprosjektet før arbeidene starter. Forarbeidet består av:

- Forundersøkelser og planlegging for utarbeidelse av anbud
- Entreprenørens planlegging og utførelse
- Adkomst til anleggsstedet og tilrettelegging for selve boringen

3.1 Forundersøkelser og planlegging for anbud

Det er viktig med tidlig kontakt mellom byggherre, konsulent, ingeniørgeolog og evt. boreentreprenører for å finne den optimale tekniske og økonomiske løsningen. Ingeniørgeologens råd i forbindelse med dagfjellssone, overdekning, strøk og fall i bergarten, mulige slepper og svakhetssoner og variasjoner i bergartsstrukturen kan være avgjørende for et godt resultat.
Der det er mye løsmasser over tunneltraseen er det forholdsvis rimelig å foreta en seismisk undersøkelse for å klarlegge beliggenheten av berget. Boreentreprenøren kan med bakgrunn av sin erfaring gi opplysninger om boremetodens begrensninger, vinkel og treffsikkerhet. Når alle nødvendige opplysninger er innhentet kan endelig prosjekt utarbeides ihht de geologiske forhold samt metodens tekniske muligheter. Innenfor disse rammene utformes den rimeligste løsningen.

Ved utarbeidelse av tegninger og anbudsdokumenter bør arbeidsoperasjonene beskrives. Det bør klart defineres hvilke avvik fra teoretisk senterlinje som kan aksepteres. Ved planlegging av lange pilothull må en være klar over at risikoen for avvik øker med borehullslengden. Borehullsvinkelen har også betydning for avviket. Et vertikalhull vil normalt ha mindre avvik enn et hull med en vinkel på 20° – 30° eller mindre mot horisontalplanet.

En god beskrivelse av pilothullsboringen kan begrense avviket. Anbudsdokumentene bør inneholde en geografisk og en geologisk beskrivelse samt en detaljert borebeskrivelse som bør inneholde:

- Utforming av boreplass
- Metode og kontroll for innstilling av boreretning
- Toleranser for avviksmålinger
- Sikringsarbeider i borehullet
- Krav til rapportering
- Krav til treffpunkt, toleranser
- Dokumentasjonskrav til boreentreprenør og kvalitetssikring

En godt gjennomarbeidet beskrivelse vil gjøre valget av entreprenør og det økonomiske oppgjøret lettere.

3.2 Entreprenørens planlegging og gjennomførelse

Valg av riktig boreutstyr til prosjektet, dvs en maskin som er tilstrekkelig stabil og har de nødvendige krefter til trykk og rotasjon er viktig. Måleinstrumenter for kontroll av trykk, rotasjon og penetrasjon. Borestrengen må være tilpasset ønsket lengde og hulldiameter. Stanglengde har betydning for størrelse og dermed tyngde på borerigg. Valg av stabilisatorer og borekroner gjøres på basis av hullengde og bergartskvalitet.

Nødvendige måleinstrumenter for avviksmålinger benyttes. For valg av utstyr er kravet til treffpunkt av stor betydning. Ved korte hull og stort tillatt avvik i horisontalplanet, kan en enkel vertikalmåler være tilstrekkelig (vanligst ved ”raiseboring”). Ved gjennomføringen av lange borehull er det nødvendig med godt kvalifiserte mannskaper med lang erfaring og som kjenner utstyret sitt godt. Klargjøring av boremaskin og selve borestrengen gjøres i samarbeid mellom verkstedpersonellet og boreoperatør. Alle føringer og ledd må være ”uten slark”. Borestrengen inspiseres manuelt mht retthet og gjengekvalitet mv. Alle rør undersøkes nøye for å finne eventuelle skader eller svakheter slik at ikke brudd i borestrengen skjer.

Diameter på pilothullskronen og stabilisatorene måles og kontrolleres. Antall stabilisatorer velges etter hullets lengde og vinkel. Et borehull med lite fall, 2° – 3° med horisontalen, kan ofte med fordel benytte færre stabilisatorer. Stabilisatorens utforming velges etter bergartskvalitet. En svak/løs bergart trenger en stabilisator med stor bæreflate for ikke å skjære seg ut av teoretisk diameter, spesielt ved boring med lite fall, samtidig må det være vannspor for raskt å fjerne borkaksen.

En borerigg behøver et fast og stabilt fundament. Det støpes en betongplate på fast og rensket fjell. Platen forankres med fjellbolter. Boremaskinen er ikke justerbar i horisontalplanet, så det er derfor nødvendig at den plasseres nøyaktig etter utsetterens linje. Boremaskinen festes med bolter gjennom betongfundamentet og ned i berget. Vertikalvinkelen grovinnstilles med maskin-water. Materbjelken (guiden) og røret finmåles deretter med nivelerkikkert.

Når den første borekronestabilisatoren er boret inn i berget, gjøres en ny måling av vertikalvinkelen og eventuelle justeringer utføres. Rotasjon og matetrykk under innboring av stabilisatorene skjer med lave trykk. Riktig retning på starten av borehullet (ansett) er avgjørende for å unngå avvik på borehullet. Spylevannsmengden og trykk må være tilstrekkelig for å fjerne borekaks. Oppbygging av borekaks rundt borerør og stabilisatorer kan tvinge borehullet ut av teoretisk kurs. Normal spylevannsmengde er mellom 1-3 m^3/min.

Borkakset har en størrelse på 0,1-30 mm. Vann for utspyling av borekaks er effektivt i borehull med stigning mer enn 3%. Ved boring på synk eller horisontale hull må vannhastigheten være større enn 1 m/s for å oppnå tilfredstillende resultat. Dersom ikke disse forutsetningene kan etterkommes må tilsetningsstoffer benyttes. Dette innebærer i de fleste tilfeller også rensing for resirkulering. Bentonittilsetninger er vanlig for å øke transportevnen til borevæsken.

Boremannskapenes innflytelse på borenøyaktigheten er det vesentligste når vi forutsetter at maskiner og verktøy er optimale.

3.3 Adkomst til påhuggssted

Transport av boremaskin og utstyr til påhuggsstedet for borehullet kan baseres på:

- Transport på vei
- Helikoptertransport
- Transport på vinterføre

Ved transport på vei må en vurdere veistandard og maksimale stigningsforhold.

Ved helikoptertransport vil prosjektet fordyres og det vil sette begrensninger for hvilket boreutstyr som kan benyttes. Utstyret må kunne deles opp i passende løft for helikopteret.
Det finnes boremaskiner som er bygget opp i demonterbare enheter som muliggjør helikoptertransport. Maskinene har egne kraftaggregater slik at maskinene kan opereres uten tilknytning til strømnettet. Dette systemet gjør det mulig å bore i ulendt terreng

Transport på vinterføre kan også være aktuelt. Da må man finne en trase med små stigningsforhold, og man er avhengig av gode snøforhold.

Utstyret for rotasjonsboring/nordsjøteknologi er veldig tungt (omtrent 45 tonn). Med det utstyr som benyttes i dag, må utstyret transporteres med semitrailer på god veg. Utstyret er per i dag ikke flybart med norske helikopter selv om det deles opp. Et alternativ til helikopter kan være bruk av slede på vinterføre hvis terrenget ikke er altfor krevende.

3.4 Borehull

Boringen skjer ved et mest mulig stabilt matetrykk og konstant rotasjon. Er bergarten i boretraseen veldig varierende mht fasthet, er det viktig å sette ned matetrykket ved overgang fra løsere til fastere bergarter. En hard mating kan medføre at borekronen endrer retning hvis de ulike bergartene har en ugunstig vinkel med borretningen (strøk/fall).

Det skal føres nøyaktig borehullslogg, med notater over eventuelle slepper, tap av spylevann mv. I loggen noteres tidspunkter, matetrykk, rotasjonstrykk/hastighet samt penetrasjonshastighet.

Borekronetrykket mot fjell skal være mest mulig stabilt, dvs at matetrykket på maskinen reduseres for vekten av borestrengen.

Er det meget strenge krav til treffpunkt for pilothullet bør det måles i både vertikal- og horisontalplanet. Antall målinger må vurderes ut i fra hullengde, vinkel og geologiske forhold. Retningen i horisontalplanet ved konvensjonell sjaktboring kan i prinsippet ikke endres.

Hullretningen i vertikalplanet kan innen visse grenser påvirkes ved å endre antall og plassering av stabilisatorene samt øke eller minske matetrykket. Avviksmålinger bør utføres der liten avviksprosent tolereres.

Rotasjonsboring (nordsjøteknologi):
Det kan bores styrte hull fra 100 mm til 350 mm men det ideelle er 216 og 250 mm.

3.5 Opprømming

Boremaskinene borer pilothull med diameter mellom ø 250 – 300 mm og opprømmingsdiametre mellom ø 600 – 2100 mm. Utenlandske entreprenører har større boremaskiner som kan rømme opp til ø 5000 mm (kun ”raise-boring”). Størrelse på opprømming og lengde på borehull henger til en viss grad sammen.

Rotasjonsboring/nordsjøteknologi: borehullet kan rømmes opp i intervaller på 250-300 mm. Standard utstyr opp til 1500 mm.

3.6 Borelengder

Med tradisjonell ”raise-boring” går det en praktisk grense ved omtrent 600 meter. Kronebytte, lengde av borestreng samt overføring av rotasjonsmoment setter begrensninger.

Nordsjøteknologi:
Med nåværende utstyr mener entreprenører at de kan bore opp til 2000 m lange hull. Dette dreier seg imidlertid om hull med begrensede diametre.

4. EKSEMPLER PÅ UTFØRTE BORINGER

4.1 ”Raiseboring”

o

Sted/anlegg	Anleggsdel	Lengde (m)	Diameter (m)
Bjølvo kraftverk	Overføringstunnel	475	1,06
	Bekkeinntak	520	1,0
	Bekkeinntak	128	0,66
Bærum kommune	Boring for vannledning	400	0,66

4.2 Rotasjonsboring

Sted	Bergart	Lengde (m)	Diameter (m)
Michigan, USA		1340	1,50
Hong Kong	granitt	1280	0,75
Main,USA	diorit/basalt	1470	1,05
North Carolina, USA	granitt/sandstein	1860	0,86
Stocholm Sverige	granitt	400	0,66

5. PROBLEMFELT

Det er ulike problemer som kan oppstå i forbindelse med gjennomføringen av et boreprosjekt. Dette kan føre til at kostnadene blir usikre.

5.1 Problemer med prosjekttypen

De største problemene med langhullsboring er knyttet til de naturgitte forhold. Det gjelder først og fremst:

- Dårlig fjellkvalitet med sprekker og slepper i boretraseen
- Lange hull kan gi stort boravvik
- Sikringsarbeider i borehullet kan være vanskelig
- Vanskelig adkomst setter begrensninger for det utstyret som kan benyttes

5.2 Begrensinger ved metoden

Begrensningen ved langhullsboring er hovedsakelig knyttet til:

- Adkomstmuligheter til anleggsstedet
- Lengder og dimensjoner som kan bores

5.3 Arbeidsproblemer

Ved prosjektering av lange pilothull må en være klar over at risikoen for avvik øker med lengden av borehullet. Borehullsvinkelen har også betydning for avviket. Et vertikalhull vil normalt ha mindre avvik enn et hull med en vinkel på 20-30° eller mindre mot horisontalplanet.

Det har vært en del problemer med rømming av borehull med sterk kurvatur.

6. KONTRAKTSMESSIG FORHOLD

Når de tekniske løsningene for langhullsboringen er klarlagt må beskrivelsen for anbudet utarbeides. Viktige forhold som bør klarlegges er:

- Risiko og ansvarsforhold
- Entreprise- og kontraktsform

6.1 Risiko og ansvarsfraskrivelse

I kontrakten mellom byggherre og entreprenør bør det være entydig avklart hvem som bærer risikoen. Følgende forhold viser seg ofte forbundet med en viss usikkerhet:

- Retningsavvik under boringen som fører til utslag på ugunstig sted. Toleransekrav må oppgis i kontrakten.
- Ustabilt eller utett berg kan føre til sikring av borehullet. Det må avtales målemetoder for kontroll og det må avtales enhetspriser for sikringsarbeidene.
- Utrasing eller andre tekniske problemer kan medføre problemer for fremdriften. Det må avtales hvem som bærer risikoen for dette.

6.2 Entreprise- og kontraktsmessig forhold

Valg av entrepriseform har stor betydning. Viktige momenter for byggherren vil være:

- Lavest mulig kostnad
- Sikkert budsjett
- Omfang av eget engasjement i prosessen
- Minst mulig ansvar

Etter at forundersøkelsene har klarlagt aktuell trase, påhugg- og utslagssted, kan man ta stilling til:

- Hvem skal bære risikoen ved prosjektet, entreprenøren eller byggherren
- Kostnadene ved risikofraskrivelse
- Hvilke krav skal byggherren stille til utførelsen av prosjektet når det gjelder boreutstyr, retningskontrollutstyr og boreavvik

De største risikomomentene er:

- Boreavvik som medfører utslag på ugunstig sted
- Ras i borehullet som kan medføre forsinkelse, tap av boreutstyr og økt sikringsarbeider
- Vannlekkasjer inn i borehullet
- Arbeidsproblemer

Dersom entreprenøren skal ta all risiko koster dette penger. Entreprenøren må innkalkulere disse kostnadene i sitt anbud. Byggherren på sin side må vurdere sannsynligheten for at uforutsette forhold skal inntreffe. Det er viktig at toleransekravene vurderes nøye, da strenge toleranser koster mye. Kontrakten mellom byggherre og entreprenør bør bl.a. inneholde:

- Beskrivelse av adkomsten til anlegget
- Alle ingeniørgeologiske rapporter
- Beskrivelse av spylevannskilden
- Angivelse av utslagets maksimale avstand fra teoretisk treffpunkt både i høyde- og sideretningen
- Sikring av borehullet med forbehold om behov
- Deponering av masser fra tunnel/sjakt

Entreprenøren skal ha ansvaret for:

- Alle oppmålingsarbeider. Koordinater og høyder oppgis for påhugg og utslagssted. Byggherren oppgir fastmerker i området
- Støping av fundamentplate og innretting av boreriggen

Fremdrift og økonomiske oppgjør for prosjektet bør kontraktsfestes i henhold til NS 3430 eller NS 3431.

Ofte vil boreoppdrag være en underleveranse til et større oppdrag (for eksempel et kraftverk). Kommunikasjonen med boreentreprenøren vil derfor i utgangspunktet gå gjennom en hovedentreprenør som ikke er ekspert på boring. Dette er enda en grunn til at beskrivelsen av krav til utførelsen må gjøres skikkelig.

7. KOSTNADER

Kostnadene for pilothull og opprømming kan variere svært mye. Hvert enkelt prosjekt bør derfor vurderes spesielt. Følgende hovedfaktorer vil påvirke borekostnadene:

- Anleggsstedets beliggenhet og adkomst
- Hulldiameter
- Hullengde
- Bergart og bergets kvalitet
- Borehullets helning
- Krav til retningsavvik under boringen

7.1 Rigg, drift og nedrigg

Kostnadene for rigg, drift og nedrigg er sterkt avhengig av beliggenhet og hvordan transport av utstyr til anleggsstedet skal foregå. Dersom anleggsstedet er vegløst og en må benytte helikoptertransport, vil kostnaden øke betraktelig. I praksis vil det ofte også sette føringer for hvilket utstyr som vil være anvendbart. Dette må vurderes i hvert enkelt tilfelle.

7.2 Kostnader

Kostnadene er sterkt avhengig av bergart og bergets oppsprekking. Kostnadene nedenfor er derfor meget grove anslag. Kostnadene til rigging og drift varierer mye og avhenger blant annet av adkomstforholdene. Rotasjonsboring/nordsjømetoden har høyere riggkostnader enn tradisjonell ”raiseboring”. Boring av pilot basert på kjerneboring innebærer en ekstra arbeidsoperasjon, men totalprisen blir omtrent den samme som for ”raiseboring” og det er derfor ikke gjengitt egne kostnader for denne metoden.

For berg med liten oppsprekking og middels borbarhet vil kostnadene beløpe seg til:

Rigg, drift og nedrigg 100.000 – 500.000 kr

Borehull:

Diameter mm	Pris pilot kr/m	Opprømming kr/m	Pris ekskl. påslag kr/m
250-300	3000 – 3.500	-	3000 – 3.500
600	3000 – 3.500	2.600	5.600
800	3000 – 3.500	3.400	6.400
1000	3000 – 3.500	4.300	7.300
1500	3000 – 3.500	6.400	9.400
2000	3000 – 3.500	8.500	11.500

Kostnadene for Nordsjømetoden vil tilsvarende beløpe seg til:

- Mobilisering 200.000 – 1.000.000 kr
- Styrt pilothull 3.000 - 3.500 kr/m
- Rømming av pilothull 1.500 - 2.000 kr/m pr. 250/300 mm

Sikringsarbeider for begge metoder varierer sterkt.

8. KONKLUSJON OG FRAMTIDSUTSIKTER

Det sentrale for byggherren i forbindelse med langhullsboring er pris, størrelse og kvalitet (ruhet). Boremetoden som benyttes er underordnet. Det er imidlertid viktig å være klar over de forskjellige metodene når man skal vurdere hva som er gjennomførbart.

Innen boreteknikk er det utviklet metoder for presisjonsboring der aktiv styring eller stabilisering gjør det mulig å bore med høy presisjon. Usikkerheten er størst for innmåling av posisjon i horisontalplanet. Dette betyr ofte ikke så mye dersom det skal bores normalt inn på en tunnel eller ha utslag i ei fjellside. Det er også mulig å lage et magnetfelt i tunneltraseen og bruke dette som en ekstra retningskontroll opptil 50 m ned i grunnen.

Med ”raiseboring” er det mulig å bore tunneler på opptil 600 meter og diameter på 2,0 meter. Sjakter kan ha enda større tverrsnitt. Ved rotasjonsboring med veiadkomst kan det bores opp til 1000 m (mindre diametre). Ved borehullsdiametre større enn 300 mm rømmes borehullet opp i ett eller flere trinn til dimensjoner opp i mot 2,0 m.

I den senere tid har det blitt utviklet boreverktøy med forbedret levetid og effektivitet. Nye rulleborekroner har lengre levetid og større produksjon enn tidligere versjoner. Det er dokumentert 50% høyere inndrift og inntil 70% høyere levetid. Dette er et resultat av økt fokusering på styrt boring i berg samt nye materialmuligheter. Økt kapasitet og levetid virker spesielt gunstig inn for lange borehull. Problemet med koning av borehull (reduksjon i diameter) blir mindre, og tidkrevende arbeid med uttrekking for bytte av krone kan reduseres. I tillegg øker erfaringsgrunnlaget og ferdighetene slik at prosjekter som tidligere ikke var gjennomførbare kan vurderes på nytt. Alternative metoder basert på slaghammere er under utvikling. Dette er lettere utstyr som utnytter vann som energibærer og vil kunne konkurrere med rotasjonsboring der tilgjengelighet og adkomst er begrensende. Slaghammere er særlig aktuelle i harde bergarter.

Boring med pilotkrone (200-300 mm), direkte ut i vannkilden er gjort i forbindelse med flere vannverk og noen få kraftverk. Borehullet er da ikke rømmet opp til større diametere.
Utslag under vann med etterfølgende opprømming, bør utvikles videre.

Borede tunneler som får vanntrykk må sikres ved foring av tunnelen med for eksempel stålrør, GPR-rør eller PE-rør. Dette gjøres i områder hvor fjelloverdekningen er for liten til å ta vanntrykket og i soner med oppsprukket fjell.
Dette er utført på noen anlegg, men ofte med dårlig resultat. Videreutvikling av metoder for tetting mellom rør og berg i en boret tunnel er derfor ønskelig.

9. FIRMAER

Firmaer som utfører sjakt- og tunnelboring i Norge er:

- Entreprenørservice AS Rudsletta 24, 1351 Rud
- Drillteknikk Norge AS Koppholen 20, 4313 Sandnes
- (Drillcon Raise avd. Norge Elgveijen 6, 1640 Råde)
- Norwegian Pipeline Drilling AS Bergsagelv. 9, 4016 Stavanger

I tillegg fins det en rekke firmaer som hovedsakelig driver med bl.a. brønnboring. En del av disse firmaene borer også horisontale hull, men med diameter opp til ca. 400 mm. Boreriggene er beltegående og tunge.

Firmaer internasjonalt:

- Bohlen & Doyen GmbH Hauptstr. 248, 26639 Wiesmoor, Tyskland
- Drillcon Raise AB Postboks 89, 71327 Nora, Sverige
- LMR Drilling GmbH Ammerländer Heerstr. 368, 26129 Oldenburg, Tyskl.
- NACAP Machlaan 5, 9761 TK Eelde, Nederland
- Skanska Raise Boring AB Råsundav. 2, 169 83 Solna, Sverige
- Stockton Pipelines Ltd. York House, Drury Lane, WF1 2TE Wakefield West Yorkshire , U.K.
- Visser & Smit Hanab bv Postfach 305, 3356 AH Papendrecht, Nederland

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2003

Nr. 1 Tor Simon Pedersen, Lars A. Kirkhusmo og Heidi Kannick: Overvåkning av grunnvann. Landsomfattende grunnvannsnett (LGN) (157 s.)

Nr. 2 Arne Rognes, Magne Skog og Pål Henriksen, Statkraft Grøner: Langhullsboring, FoU-prosjekt (28 s.)