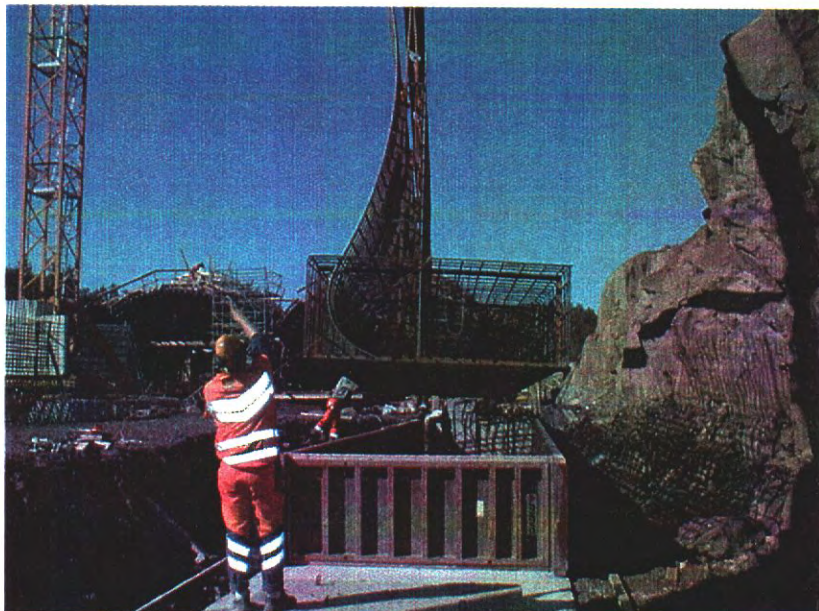


Intern rapport nr. 2104

Island miljøtunnel. Erfaringer
med monteringsrammer for
armering



Oktober 1999



Statens vegvesen
Vegdirektoratet

Vegteknisk avdeling

Intern rapport nr. 2104

Island miljøtunnel. Erfaringer med monteringsrammer for armering

Sammendrag

Som det første anlegget i Norge har Statens vegvesen Vestfold benyttet monteringsrammer etter det danske ARM-TEC systemet ved byggingen av Island miljøtunnel på E 18 i nordre Vestfold. Armeringsbindingen har blitt tatt ut av den mest stressede produksjonslinjen og har blitt utført i maler og med bruk av stålrammer med utstansede slisser for hvert enkelt armeringsjern. Armeringen er bundet i 4 typer kurver med vekt 4,6 - 6,7 tonn.

Bruken av monteringsrammene har lettet arbeidet i en slik grad at

- timeforbruket for armeringsarbeidene er redusert med 35% i forhold til konvensjonell utførelse
- overtidsarbeidet er redusert kraftig, og skiftarbeid som sannsynligvis ville vært nødvendig med konvensjonell utførelse har vært unødvendig
- mannskapsstyrken har kunnet bli redusert fra 19 til 16 mann

I de siste ca. 90% av anleggsperioden har en hatt økonomisk gevinst ved bruk av monteringsrammer for sålearmeringen. For hvelvarmeringen har en hatt økonomisk gevinst i forhold til kalkulasjonspris basert på konvensjonell utførelse den siste halvparten av anleggsperioden.

Med hensyn til HMS har gevinsten vært betydelig. Stort sett alt armeringsarbeid har vært utført fra bakkenivå og i behagelig arbeidshøyde. Risikoen for skli- og fallulykker har vært betydelig redusert. Kvalitetsmessig har arbeidsmetoden også gitt store gevinster fordi de fleste unøyaktighets- og feilmulighetene er eliminert.

Startkostnaden ved å ta i bruk systemet vurderes å være så høy at systemet først og fremst er lønnsomt for prosjekter med flere repetisjoner.

Emneord: *Armering, betongbygging, HMS, prefabrikasjon*

Kontor: *3530 Betongkontoret*

Saksbehandler: *Reidar Kompen*

/ KOE

Dato: *Oktober1999*

Statens vegvesen, Vegdirektoratet

Vegteknisk avdeling

Postboks 8142 Dep, 0033 Oslo

Telefon: 22 07 39 00 Telefax: 22 07 34 44

Innhold

	Side
1. Innledning	2
2. Konstruksjonen Island miljøtunnel	3
3. Opprinnelige utførelsesplaner	4
4. Omarbeiding av konstruksjon og utførelsesplaner for bruk av monteringsrammer for armeringen	5
5. Typer av prefabrikkerte armeringsenheter	7
6. Driftserfaringer med bruk av monteringsrammer for armeringsmonteringen	7
7. Erfaringer med hensyn til timerverksforbruk og økonomi	13
8. Erfaringer med hensyn til HMS	14
9. Erfaringer med hensyn til kvalitet	15
10. Oppsummering, konklusjoner	16

1. Innledning

Under et anleggsbesøk til produksjonsstedet for senketunnel-elementene for Øresundsforbindelsen i slutten av august 1997, observerte rapportforfatteren bruken av noen spesielle monteringsrammer for armeringen. Armeringen ble montert i meget store enheter utenfor forskalingen, og deretter heist inn og satt sammen. Den høye graden av prefabrikking av armering var et viktig element i det effektive produksjonsopplegget som ble benyttet.

Monteringsrammene var sveiset sammen i stive enheter, og hadde utstansede slisser med plass for hver enkelt armeringsstang. Måten å montere armering på var lett og arbeidsbesparende for jernbinderne, og den resulterte i en utrolig god monteringsnøyaktighet i forhold til den konvensjonelle arbeidsmåten. Det så ut til at nøyaktigheten ble beholdt også ved transport/flytting av de store armeringsenhetene. At monteringsrammene for armering var et kommersielt system, visste rapportforfatteren den gang **ikke**.

Da Dikema Industri AS kontaktet Vegdirektoratet, Vegteknisk avdeling for å informere om det danske ARM-TEC systemet, var grunnlaget for ønsket om å prøve systemet allerede til stede. Innenfor armeringsarbeid har det skjedd svært liten utvikling gjennom ganske mange tiår, og dette systemet var interessant både ut fra produksjons- og byggherresynspunkt. ARM-TEC systemet var utviklet av Kurt Offersen under arbeid på Storebæltforbindelsen og ble produsert av Ib Andresen Industri i Danmark.

Tradisjonelt armeringsarbeid er svært tungt, og slitasjeskader er vanlig for jernbindere. Armeringsarbeidet utføres også nesten alltid under tidspress. Det sies at den verste jobben på et anlegg er å være jernbinder. Enten går arbeidet for sakte, eller så gjøres arbeidet for dårlig. Å finne nye arbeidsmåter som gjør arbeidet mer attraktivt og ivaretar folks helse og sikkerhet på en bedre måte bør være en prioritert oppgave. Om en samtidig kan oppnå kvalitetsforbedringer for det ferdige produktet, ville det være strålende.

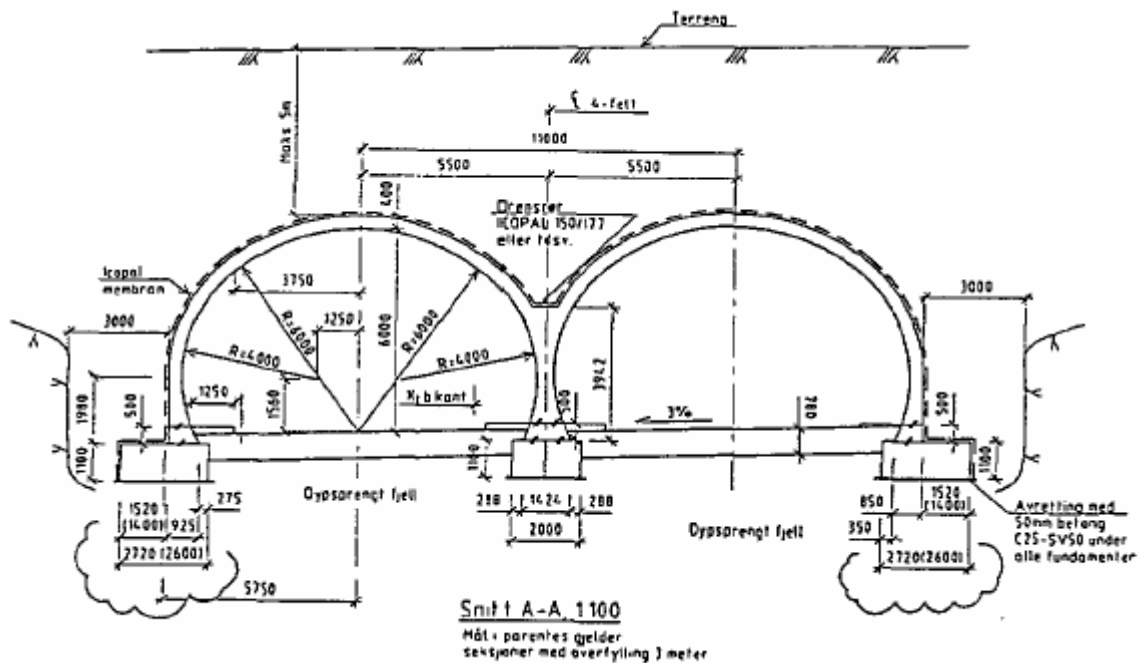
Vegteknisk avdeling tok kontakt med enkelte anleggsledere innen Vegvesenets produksjonsavdeling for å luften interessen for ARM-TEC systemet, og for å finne et egnet prosjekt hvor systemet kunne prøves i full skala. Prosjektet kunne gjerne ha mange repetisjoner, slik at en også kunne få erfaring med repetisjonseffekten.

Som prøveprosjekt ble valgt Island miljøtunnel, som inngår i E 18-utbyggingen i nordre Vestfold. Prosjektet startet opp etter sommerferien 1998, og gikk fram til sommerferien 1999. Anleggsleder fra Vegvesenets produksjonsavdeling var Eivind Holtan.

2. Konstruksjonen Island miljøtunnel

Island miljøtunnel ligger på Holmestrandspataet og inngår i den nye 4-felts E 18 i nordre Vestfold. Ordet "miljøtunnel" benyttes om tunneler som ikke bygges av topografiske årsaker, men for bevaring av terrengformasjoner og vegens nærmiljø. Miljøtunneler bygges i åpen byggegrop og løsmasser fylles over tunnelen.

Island miljøtunnel består av to parallelle tunneler med lengde 400 m eksklusiv portaler. Tunnelprofilen er T10 og betongtykkelsen i hvelvet 0,4 m. Tunnelrørene er fundamentert på tre stripefundamenter og har felles midtvegg, kfr. Fig. 1.

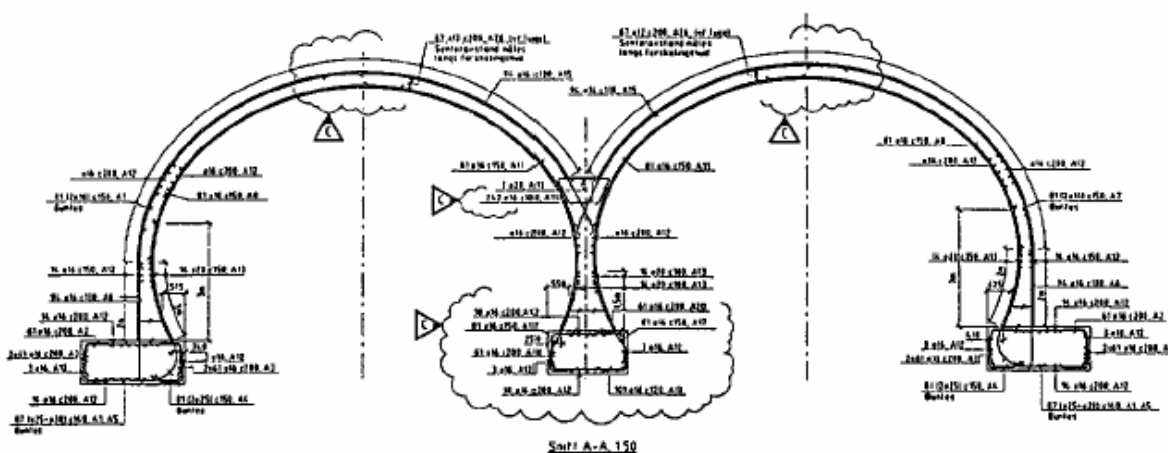


Figur 1. Tverrsnitt av tunnelrørene

Tunnelen vil bli overfylt med løsmasser i en tykkelse av h.h.v. 3 m og 5 m over hvelvet. Hvelvet har en radius på $R = 6$ m i hengen, $R = 4$ m fra sålen til vederlagene.

Tunnelene er oppdelt med fordyblede fuger (ikke gjennomgående armering) for hver 12,14 m. Hvert støpeavsnitt av tunnelene (12,14 m) har et volum på ca. 200 m^3 , sålene ca. 100 m^3 . På de 400 m tunnallengde trengs 33 oppstillinger av forskalingsvognene.

Armeringen i hvelvet består av $\text{Ø}^k 16$ c 150 h.h.v. 125 mm på langs og $\text{Ø}^k 16$ c 150 mm rundt. Skjøtearmeringen fra fundamentene består av $\text{Ø}^k 20$ c 150 mm, og har et ganske spesielt bøyeprofil. Det vises til armeringstegningen i Fig. 2. For hvert støpeavsnitt utgjorde armeringen 35 tonn ved 5 m overfyllingshøyde, 31,5 tonn ved 3 m overfyllingshøyde.



Figur 2. Armering av tunnelrørene

Byggeprosjektet karakteriseres av følgende tall:

- betong : 10 000 m³
- armering : 1 100 tonn
- pris pr. 1m ferdig konstruksjon ekskl. portaler: NOK 37 500,-

Konstruktør for betongtunnelen er Interconsult AS v/siviling. Frode Beck.

Sentrale personer i byggingen har vært:

- Produksjonsleder: Gunnar Hasle
- Anleggsleder: Eivind Holtan
- Ass. anleggsleder: Bjørn Gjelsås
- Byggeleder: Olav Lervik

3. Opprinnelige utførelsesplaner

Vinteren 1996/97 bygget Eivind Holtan og hans mannskaper en tilsvarende miljøttunnel, Bjørge miljøttunnel, noe lenger nord på den nye E 18. I forbindelse med dette prosjektet ble det bygget opp flyttbare forskalingsvogner som var beholdt intakte. Ytterside-forskalningene besto av en 2 m høy vertikal lem nederst, deretter 1 m brede lemmer som ble montert etterhvert som støpefronten steg. Et 5 m bredt felt på toppen ble støpt uten overforskalning. Innerforskalning og de ytre forskalingslemmene ble bundet sammen med gjennomgående AZ-stag.

For bygging av Island miljøttunnel ble de ytre forskalingslemmene forsterket slik at stagavstanden kunne økes til mer enn 1 m. Antall stag ble redusert med ca. 30%.

Forskalingsvognene ble også bygget om med kranhjul slik at de kunne ruller fram på kranskinnegangen. Kranskinner var derfor forutsatt lagt i begge tunnellopp. Forskalingsvognene ble fornyet med langsgående bord som forskalingshud.

Med hensyn til armering var arbeidet tenkt utført på konvensjonelt vis, dvs. som på Bjørge miljøtunnel. Armeringsmengdene for Island miljøtunnel var imidlertid omtrent halvert, på grunn av mindre overfyllingshøyde og armeringsreglene i den aller siste utgaven av NS 3473.

Bjørge miljøtunnel ble utført med 14 dagers støpesyklus. Til tross for dette ble det i den opprinnelige driftsplanen for Island miljøtunnel forutsatt 7 dagers støpesyklus. Årsaken til dette var delvis mindre armering, delvis ønsket om å vise sin effektivitet/ konkurranse-dyktighet i forhold til den entreprenøren som skulle bygge en relativt tilsvarende miljøtunnel på samme parsell i samme tidsperiode. Om det skulle bli problemer å holde ukessyklusen, var en innstilt på å øke bemanningen og arbeide på 2 skift for å greie hele prosjektet innenfor den forutsatte byggetiden på ett år.

Opprinnelig var det forutsatt en bemanning på 19 mann på prosjektet.

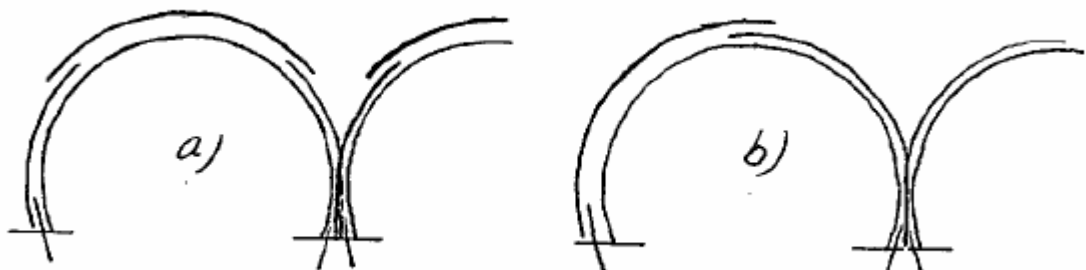
4. Omarbeiding av konstruksjon og utførelsesplaner for bruk av monteringsrammer for armeringen

Før beslutning om bruk av monteringsrammer ble tatt ble konseptet vurdert m.h.t. konsekvenser vedrørende:

- økonomi
- HMS
- anleggsgjennomføring

For å se mest mulig av bruken av ARM-TEC systemet i praksis og produksjonen av monteringsrammene, foretok folk fra prosjektet en studietur til Øresund og Ib Andresen Industrier. Da beslutningen om bruk av systemet ble tatt, følte en seg rimelig sikker på konsekvensene.

For selve konstruksjonsutformingen hadde bruken av monteringsrammene ikke annen konsekvens enn at det ble funnet gunstigst å flytte armeringsskjøten fra vederlagene, hvor krumningsradien ble endret fra 4 til 6 m, til midt i hengen. Endringene er skissemessig angitt i Fig. 3.



Figur 3. Opprinnelig armeringsføring (a) og armeringsføring etter omarbeiding (b)

Omfarskjøtene for innside og ytterside i hengen ble forskjøvet for å passe med armeringskurvmontasje, kfr. Fig. 4.



Figur 4 Omfarskjøt for armeringskurvene i hengen. Armeringskurven til venstre monteres først

For anleggsgjennomføringen ville prefabrikkering av armeringen med bruk av monteringsrammer kreve:

- større byggekran med høyere leiepris
- riggplass på ca. 300 m² for binding av armeringskurver innenfor byggekranens rekkevidde
- lagerplass for ferdig bundne armeringskurver, også disse innenfor byggekranens rekkevidde.

Konsekvensen av bruken av armeringsrammene var at det ble leid inn en tårnkran med kapasitet 8 tonn på 18 m arm, mot opprinnelig forutsatt 6 tonn. Dette medførte en økning av leieprisen.

Det ble vurdert sterkt å leie telt over armeringsbindingsriggen. Arbeiderne vurderte imidlertid ulempene med telt så store at de heller ville binde armeringen i friluft.

Det ble vurdert å utføre kun hvelvarmeringen med monteringsrammer, og altså utføre sålearmeringen konvensjonelt. Årsaken til dette var at sålearmeringen var ansett for å være ganske enkel, og en var engstelig for kollisjon mellom to prefabrikkerte armeringsenheter. ARM-TEC fremholdt at også sålene burde utføres med monteringsrammer, **nettopp** for å unngå slik kollisjon. Dette viste seg å være en helt riktig vurdering.

Framdriftsplan og kostnadsoverslag ble ikke endret som følge av omarbeidingen til bruk av monteringsrammer. ARM-TEC antydte muligheten for betydelig forsering av framdriften, men anleggsledelsen ønsket å ta ut en eventuell gevinst ved å redusere bemanningen på prosjektet.

5. Typer av prefabrikkerte armeringsenheter

ARM-TEC v/Kurt Offersen utførte all planlegging av armeringsrammer, inklusiv detaljerte anvisninger for hvordan kurvene skulle monteres. Anvisningene var meget brukervennlige, og planleggingsarbeidet var meget profesjonelt utført. Prosjektet var det første hvor ARM-TEC planla bruk av krumme armeringskurver.

For planlegging av armeringskurver inklusiv senteravstand for monteringsrammer etc. ble det fra bestiller akseptert at for dette pilotprosjektet trengte ikke Veglaboratoriets Intern rapport nr. 1731 tolkes på den mest restriktive måten. Armeringskurvene skulle utformes med tilstrekkelig styrke, stivhet og understøttelse slik at alle toleransekrav ble oppfylt med god margin, men siden sikringen ble ivaretatt på annen måte trengte en ikke følge de reglene som er gitt for konvensjonell armeringsutførelse.

Armeringskurvene ble planlagt og utført med monteringsrammer c/c 2,2 m for såler, c/c 1,65 m for hvelv.

Løfteåk for armeringskurvene ble dimensjonert av Interconsult AS v/Frode Beck. Vekten av løfteåk inkludert slings var ca. 1,5 tonn.

Det ble benyttet fire ulike armeringskurver, kfr. Fig. 3:

1. Hvelv fra ytterside til heng (ca. 5,8 tonn)
2. Hvelv fra midtvegg til heng (ca. 5,0 tonn)
3. Yttersåle (ca. 6,7 tonn)
4. Midtsåle og midtvegg (ca. 4,6 tonn)

Prosjektet med krumme armeringskurver har en betydelig større vanskelighetsgrad enn hva som er ønskelig for et pilotprosjekt. Økonomi- og driftserfaringer med slike armeringskurver alene ville kunne føre til misvisende konklusjoner. Det er derfor gunstig at det i prosjektet ble besluttet å utføre fundament og midtveggarmeringen med monteringsrammer. Dette armeringsarbeidet har en mer normal vanskelighetsgrad, og erfaringene fra dette er trolig mer representative for monteringsrammer som metode.

6. Driftserfaringer med bruk av monteringsrammer for armeringsmonteringen

Monteringsrammene har vært transportert fra Danmark i sammenbuntet form. Det har ikke forekommet feil eller plunder i forbindelse med noen leveranse eller i forbindelse med lossing eller lagring. Monteringen av armeringskurver på anlegget har også fungert godt. Monteringsanvisningen fra ARM-TEC og den igangkjøringshjelp som ble gitt av Kurt Offersen har vært meget god.

Hvelvarmeringen har blitt montert på en 12 x 15 m mal bygget på anleggsstedet, hovedsakelig med deler levert av ARM-TEC, se Fig. 5. Ved monteringen har arbeiderne kunnet gå på bakken uten risiko for fallulykker, og uten å få mange vanskelige arbeidsstillinger. Hvelvarmerings-malen har blitt flyttet om-og-om igjen, og plassert slik at den dekker 3-4 flyttinger av forskalingsvognene. Plassforholdene på dette anlegget har vært

slik at det ikke har bydd på problemer å finne egnet plass for malen. På trange anlegg kunne dette skapt problemer.



Figur 5. Monteringsmal for hvelvarmeringen

Ferdig bundne armeringskurver av hvelvarmering har blitt lagret oppå det utstøpte hvelvet bak forskalingsvognen. Med bruk av labanker har dette fungert godt. Ifølge ARM-TEC kunne inntil 4 hvelvarmeringskurver legges oppå hverandre.

Malen for såle-armeringskurvene har vært plassert i byggegropa. Denne har vært enklere og har vært flyttet oftere enn hvelvmalen, se Fig. 6.

Første hvelvkurv havarete ved løfting, fordi stroppene fra løfteåket ble festet så langt fra hverandre at horisontalkreftene ble for store. Etter at festepunktene ble flyttet innover, har løfting og transport med kran fungert godt, se Fig. 7. Episoden med havariet av den første kurven understreker viktigheten av at løfting/transport av ferdige kurver planlegges/dimensjoneres godt. Denne interntransporten på byggeplassen kan ha store sikkerhetsmessige konsekvenser.



Figur 6. Sålearmering med skjøtejern til vegg



Figur 7. Løfting av hvelvarmeringskurv fra monteringsmalen

Så store kranløft som er benyttet på dette anlegget viser også at plassutnyttelsen ved bruk av monteringsrammer må planlegges godt. I tillegg til montasjeplassen trengs også at krana har tilstrekkelig dekning på alle lagerplasser osv. På dette anlegget ga tårnkran med kapasitet 8 tonn/18 m tilstrekkelig kapasitet, slik at det nesten ikke har vært nødvendig å supplere med mobilkran. Generelt bør nok krandekningen sikres ved egen planlegging med opptegning av riggplan.

Kranas kapasitet har vært utnyttet til det ytterste. Den viste seg tilstrekkelig, men om en skulle ha vurdert om igjen ville en trolig valgt en 10 tonns kran. En kjempefordel med bruken av armeringsrammene er den presisjonen med armeringsplassering som er oppnådd. En har unngått kollisjon mellom hvelvarmering og skjøtjern fra fundamentet når hvelvarmeringen skulle plasseres, og kollisjon mellom armeringsjern i de to hvelvarmeringskurvene når disse ble plassert, se Fig. 8 og 9. Ellers er slik kollisjon "selve skrekken" ved bruk av ferdig bundne armeringskurver mot hverandre. Forøvrig har en også unngått kollisjon mellom forskalingsstag og armering, noe som var svært vanlig ved konvensjonelt bundet armering. Stagplasseringen har vært planlagt i forhold til teoretisk armeringsplassering, og der staghullene har vært har det også alltid vært plass til stagene. Å vite at en unngår problemer med plassering av forskalingsstag som skal monteres samtidig med betongstøpingen reduserer stresset under selve støpingen.

Opprinnelig var det kalkulert med en driftsstans med skifting av hud på forskalingsvognene i løpet av anleggsperioden. Takket være at en har slipt huden flere ganger undervegs har slikt skifte kunnet unngås.

I starten av anlegget var synspunktene delte blant arbeiderne m.h.t. bruken av monteringsrammer. Etterhvert som erfaringene har økt har skepsisen hos de som i utgangspunktet var negative blitt avløst av en mer positiv innstilling. Ved avslutningen av byggearbeidene har selv de mest pessimistiske blitt tilhengere av monteringsmetoden. En er vesentlig mer fornøyd med den armeringsmontasje metoden som ble benyttet her enn den konvensjonelle som ble benyttet på Bjørge miljøtunnel.

Bruken av monteringsrammene medførte at armeringsarbeidet måtte gjennomtenkes. Denne gjennomtenkingen smittet også over til de andre arbeidene. I særlig grad så en da tårnkranas sentrale rolle, en måtte tenke på kranutnyttelse, rekkevidde, rekkefølge og syklus. Eksempelvis har lagring av ferdigbundne armeringskurver vært et stort diskusjonstema. Slik industriproduksjonstenking har blitt en del av byggeplassen, og arbeidstilsynet bemerket "uvanlig ryddig byggeplass" ved sitt besøk.

Krandisponeringens betydning for framdriften har vært det vært stor forståelse for, med lite "slåssing" om hvem som skulle få krana først.

De to første støpeavsnittene av miljøtunnelen ble utført med konvensjonelt lagt armering. Syklustiden for disse støpeavsnittene var 14 dager, dvs. som forventet men litt dårligere enn en håpet på. Tiden for første støpeavsnitt med prefabrikkerte armeringskurver var 8 dager (6 irkedager), deretter har en (bortsett fra forstyrrelsen av helligdager i uken) greid å holde ukessyklus. Hvert støpeavsnitt har altså krevet 5 virkedager.



Figur 8. Første hvelarmeringskurv plassert



Figur 9. Andre hvelvarmeringskurv plasseres

For å greie ukessyklus har det vært nødvendig med noe overtid, men ikke mye. Overtidsbruken var størst i starten, og har blitt redusert etterhvert, selv om også bemanningen er blitt redusert.

Arbeidene i hver syklus fordeler seg typisk på følgende måte:

Torsdag: Betongstøp hvelv 200 m³ og montere overforskaling på hvelv.
Normalt ca. 2 t overtid.

Lørdag/søndag: Herding av betong

Mandag: Kjøre fram forskalingsvogna i østre løp, (krana gikk i vestre løp), justere vogna i riktig posisjon. Montere armering fra ytterside til heng og eventuelt også fra midtvegg til heng.

Tirsdag: Samme som mandag, vestre løp.

Onsdag: Montere endesteng og de nederste 2 m av ytterforskaling i begge løp.
Tilrigging for støp.

I utgangspunktet var arbeidene organisert med tre arbeidslag:

Forskalingsvogn: Flytting/montering av forskalingsvogn med tilhørende arbeider, montasje av armeringskurver på vognene, støping av hvelv og legging av Bentonit-membran på tunneltak. Sistnevnte operasjon krevde 2-3 timer én kveld pr. uke. Laget besto av minimum 8 mann, i starten besto laget av 9-10 mann inkludert kranfører.

Hvelvarmering: Binding av armeringskurver for hvelv. Laget besto av 2-3 mann, 4-5 mann i starten.

Sålearmering: Binding av armeringskurver for såler og midtvegg. Byggegrep-preparering, forskaling, armering og støp av såler, flytting av kranbane. En seksjon av såler (100 m³) støpt pr. uke. Laget besto av 4 mann, 5 mann på det meste.

Bruken av monteringsrammer har resultert i at bemanningen på anlegget er redusert fra 19 til 16 mann, ca. midtveis i anleggsperioden.

I tradisjonell betongbygging har arbeidsoperasjonene forskaling, armering og betongstøp utgjort en sekvens. Forskaling har tradisjonelt krevet lang tid, det gjelder også armeringsarbeidet, mens selve betongstøpen har vært en kort episode. I brubygging er det vanlig å bruke en måned på forskaling og armering, mens støpen utføres på en dag. For å øke produktiviteten har en lenge tilstrebet bruk av systemforskaling og gjenbruk av store forskalingsenheter. Forskalingsvognene i dette prosjektet er et godt eksempel på dette. Det nye i dette prosjektet, og derfor noe som har et perspektiv, er at armeringsbindingen også er flyttet ut fra den kritiske produksjonslinjen. Dette medfører mindre stress i arbeidet, kortere syklustid og bedre tidsbalanse mellom de tre arbeidsoperasjonene forskaling, armering og betongstøp. Framdriften blir også mer oversiktlig og lett å kontrollere.

7. Erfaringer med hensyn til timeverksforbruk og økonomi

Bruken av monteringsrammer innebærer at det er investert mer i rigg, innkjøp og maskinkostnader, mens det er spart på timeverksforbruket. Hvelvarmering og sålearmering har vesensforskjellig vanskelighetsgrad, slik at timeverksbesparinger er å forvente tilsvarende forskjellig.

Følgende elementer medfører økte kostnader:

1. Leie av større kran enn opprinnelig forutsatt (8 tonn i stedet for 6 tonn)
2. Innkjøp av rammemateriell og montering av rammer
3. Oppbygging av monteringsmal og løftåk for armering
4. Planering og tilrettelegging av areal for monteringsmal, samt flytting av denne
5. Plassering av armeringskurver i forma ved hjelp av kran

Følgende elementer medfører reduserte kostnader:

6. Kortere tid (reduerte timeverk) for binding av armering
7. Reduserte timekostnader på grunn av mindre bruk av overtid
8. Hester og monteringsstenger sløyfes

I løpet av hele anleggsperioden er alle kostnader som innkjøp, maskinleie og timekostnader registrert nøyaktig på prosess og kostnadsart.

Opprinnelig kalkulert enhetspris for armeringen, dvs. gjennomsnittspris for all armering i både hvelv og såler men eksklusiv portaler, var 7200 kr/tonn inklusiv MVA. Totalprisen besto grovt delt i ca. 4200 kr/tonn i materialkostnad inklusiv kranleie og 3000 kr/tonn i arbeidskostnad.

Timeverksforbruket og reduksjonen i dette som følge av repetisjonseffekten, har som forventet vært forskjellig for hvelvarmeringen og sålearmeringen. I starten, da bruken av monteringsrammer var nytt, greide en ikke å oppveie de økte innkjøpskostnadene med reduserte timekostnader selv om framdriftsforbedringen var stor. For sålearmeringen, som er av en normal vanskelighetsgrad, fikk en relativt raskt en repetisjonseffekt som reduserte timeverkene så mye at det oppveide kostnadsøkningen. I 90% av anleggsperioden har en tjent penger på bruk av monteringsrammer for sålene sammenlignet med konvensjonell utførelse. For hvelvarmeringen har repetisjonseffekten vært seinere, slik at en først halvveis i anleggsperioden passerte balansepunktet hvor en begynte å tjente på å bruke monteringsrammer.

Med hensyn til arbeidskostnader skal det bemerkes at alt personell har bodd hjemme, slik at arbeidskostnadene ikke har noen andel fra diett-, overnattings- eller pendlingskostnader. Hele krankostnaden har vært belastet armeringsprosessen, selv om anlegget selvfølgelig har hatt god nytte av en større kran for andre arbeider enn armeringen. Kranen har vært i bruk anslagsvis 90 % av tiden.

Alt i alt har en i prosjektet brukt ca. 35 % mindre timeverk til armeringsarbeid enn opprinnelig forutsatt. En ser i ettertid, ut fra det totale arbeidsomfanget, at dersom en skulle ha benyttet konvensjonell armeringsmontasje, måtte en ha benyttet to-skifts arbeid for å

holde den forutsatte byggetiden. Med bruk av monteringsrammene har en både greid å holde byggetiden, og kunnet redusere bemanningen fra de forutsatte 19 til 16 mann.

Noe av gevinsten i prosjektet kan ligge i at en, foruten å benytte monteringsrammer for armeringen, også har tatt i bruk Max bindemaskin RB392 som bindehjelpemiddel, se Fig. 10. Bindeapparatet har en høy kostnad (ca. 20 000 kr.) og selve bindetråden for denne har en meget høy pris. Likevel har en funnet den praktisk lønnsom å benytte. Den er lett å holde og armeringsbindingen gikk tre ganger så raskt som de beste jernbinderne greide.



Figur 10. Binding av armering med bindepistol

8. Erfaringer med hensyn til HMS

I forhåndsvurderingene av om en skulle velge å bruke armeringsrammene veide HMS-aspektene meget tungt. Selv om det ikke skulle være andre gevinster enn HMS og en skulle ha problemer med å få økonomien til å gå i hop, var forventningene om bedre arbeidsmiljø og redusert ulykkesrisiko mer enn tilstrekkelig til å forsøke monteringsrammene.

Ved prefabrikkering av store armeringsenheter i mal har stort sett alt armeringsarbeid vært utført fra bakkenivå og i behagelig arbeidshøyde. En har unngått stillasbygging for armeringsutførelse, og en har unngått å ha folk arbeidende oppå en hvelvforskaling behandlet med forskalingsolje i all slags vær, rett over oppstikkende skjøtarmering.

En har ikke konkrete registreringer som dokumenterer forbedringer på HMS-siden, men tror at trivselen på anlegget har økt, og at dette har redusert sykefraværet. At det ikke har vært

noe "kluss" med monteringsrammene er viktig i denne sammenhengen. Det bør også nevnes at bare det at en forsøker å oppnå forbedringer som arbeiderne selv har nytte av, har positiv innflytelse på arbeidsmiljøet.

Det er ikke registrert ulykker på prosjektet. Det er registrert én nestenulykke, men den har ikke sammenheng med armeringsarbeidene.

9. Erfaringer med hensyn til kvalitet

I armeringskurvene bindes hver enkelt stang i hver sin forhåndsbestemte sliss med anlegg mot rammeprofilet. Avviket i senteravstand vil derfor ikke kunne bli mer enn noen få millimeter, og avviket i overdekning begrenser seg til kamhøyden, pluss eventuelle bidrag fra avviket for forskalings huden og bøyning av armeringsstengene mellom opplegg. Til sikring av overdekningen er det benyttet armeringsstoler av betong, både betonghjul og punktstoler.

For å få tallmessige uttrykk for hvilken forskjell det er i nøyaktighet for de to armeringsmontasje-metodene, er overdekningen blitt målt med Covermeter på ferdig konstruksjon på 24 felt på hver side av de to tunnelene. For hvert felt er 6-17 parallelle stenger i ytterste armeringslag målt. Feltene er valgt på tilfeldige støpeavsnitt, men med 6 felt på hver av

- sydgående løp høyre side
- sydgående løp venstre side
- nordgående løp høyre side
- nordgående løp venstre side

Overdekningsvariasjonen illustreres av følgende tall:

	Bjørge	Island
Gjennomsnittlig overdekning	53,8 mm	54,3 mm
Standard avvik for overdekning	21,2 mm	15,9 mm
Variasjonskoeffisient overdekning	39,5%	29,3%
Minste overdekning på noe felt	11,1 mm	31,3 mm
Største overdekning på noe felt	111,2 mm	88,5 mm
Minste standardavvik innen et felt	0,8 mm	1,0 mm
Største standardavvik innen et felt	13,0 mm	7,9 mm

Gjennomsnittlig overdekning er ganske lik og omtrent som forventet for begge tunnelene. Variasjonen i overdekning er imidlertid mye større enn forventet for begge tunnelene, og definitivt størst for Bjørge. Dette understreker behovet for å fortsette arbeidet med å få kontroll med variasjonen i overdekning. Når en kjenner arbeidsprosessen med armeringsmontasje ved hjelp av monteringsrammer, har sett hvor usedvanlig regelmessig armeringen er plassert før utstøping og vet hvor stive armeringskurvene er, kan det synes som en gåte at variasjonen i overdekning i ferdig produkt ikke er mer redusert. Noe av forklaringen kan ligge i at Covermeter-angivelsen kan være forstyrret i varierende grad av underliggende armering eller av annen, parallell armering. Rådata kan imidlertid tyde på at avvik for plassering av armeringskurver i fundamentforskalingen kan være en hovedkilde til avvikene i overdekning i hvelvet.

En viktig erfaring underveis i prosjektet var at arbeidsmetoden med monteringsrammer krevde mindre kontroll, både kvalitets- og framdriftskontroll. Systemet var i stor grad slik at feilmuligheter er eliminert. Denne erfaringen har i ettertid en bismak, i det en har fått illustrert hvor avgjørende det er å analysere utførelsen og få med seg alle faktorene som kan resultere i overdekningsavvik. Konklusjonen er likevel at bruk av monteringsrammer har bedret nøyaktigheten i armeringsplassering betydelig i forhold til konvensjonell utførelse.

10. Oppsummering, konklusjoner

Som det første anlegget i Norge har Statens vegvesen Vestfold benyttet monteringsrammer for armering etter ARM-TEC systemet.

Monteringsrammene er benyttet på Island miljøtunnel, E 18 i nordre Vestfold. Fire typer prefabrikkerte armeringskurver er benyttet, 2 typer til hvelv med radius h.h.v. 4 og 6 m, og 2 typer til fundament/skjøtarmering til vegg. Vekt av armeringskurvene har vært , , og tonn.

Monteringsrammene og monteringsanvisningen som fulgte har fungert uten noen form for problemer. Alt har vært i orden med leveransene, og alt har passet i hop som det skulle.

Første armeringskurv til hvelvet havarerte fordi den ble stroppet slik at horisontalkreftene i rammen ble for store. Siden har løfting, intern transport, lagring og montering av armeringskurvene fungert uten problemer. Selve monteringsrammene og endringer i tilrigging som var nødvendige for å bygge/håndtere store armeringskurver har medført kostnader som ikke var forutsatt i den opprinnelige kalkylen. Bruken av monteringsrammer har imidlertid lettet arbeidet i en slik grad at

- timeforbruket for armeringsmontasje alt i alt er redusert med ca. 35 %
- overtidsarbeid er redusert kraftig etterhvert som en har fått erfaring med montasjemetoden, og skiftarbeid (som sannsynligvis ville blitt nødvendig med konvensjonell armeringsmontasje) har vært unødvendig
- en stram byggetid har blitt holdt, og mannskapsstyrken har kunnet bli redusert fra 19 til 16 mann

Totaløkonomien viser at en i 90% av anleggsperioden har tjent på å bruke monteringsrammer for sålefundament med skjøtarmering til vegger. Fra midtveis i anleggsperioden har også repetisjonseffekten gitt netto fortjeneste ved bruk av monteringsrammene for hvelvet, hvor vanskelighetsgraden for armeringsarbeidet er betydelig større. For hvelvarmeringen var HMS den største forbedringen, for sålene var bedret økonomi den største nytteeffekten.

Startkostnaden for bruk av monteringsrammer vurderes å være så høy (ekstra planlegging, tilrigging og opplæring av mannskaper) at systemet først og fremst er lønnsomt for arbeider med flere repetisjoner. Dersom en kunne standardisere vanlige konstruksjoner i større grad, kunne det vært mulig å benytte monteringsrammer med økonomisk gevinst også der. Når arbeiderne først har erfaring med bruk av monteringsrammer vil terskelen for å ta denne metoden i bruk være lavere.

Utenom å gjøre armeringsarbeid mindre arbeidsintensivt har monteringsrammene en stor og positiv innvirkning på arbeidsmiljø og ulykkesrisiko. Stresset i armeringsarbeidet blir mindre, arbeidsstillingene gunstigere og risikoen for fall-/skliulykker er sterkt redusert. Langsiktige HMS-effekter vil trolig kunne ha innflytelse på såvel økonomi som rekruttering.

Kvalitetsmessig gir bruken av monteringsrammer en betydelig gevinst, i det flere av feil- og avvikskildene elimineres.