SBUF

SKANSKA

ID: 13823

NAJNINGSVERKTYG FÖR INDUSTRIROBOT

FoU-rapport

Martin Blohm

2022-01-12

SBUF stödjer
forskning & utveckling
som leder till
praktisk handling

Förord

Detta projekt är initierat och lett av Skanska med Martin Blohm (Skanska Teknik) som projektledare med målet att ta fram ett najningsverktyg anpassat till att användas monterat på en industrirobot. Projektet utförs i samverkan med det av Vinnova och Trafikverket delfinansierade utvecklingsprojektet *Byggautomation - Armering* med Skanska, ABB och Husqvarna som projektparter och Robotdalen som konsult till Skanska. Parallellt pågår också ett doktorand-projekt vid Mälardalens Högskola, som finansieras av KK-stiftelsen, SBUF och MDH. SBUF-projektet har nummer 13556 och har titeln *Armeringsstation - Robottillverkning av armering*.

Från Skanska Tekniks sida har även Anton Evensson och Pertti Johansson deltagit i projektet.

Jonas Eriksson och Jonas Sundmark (Husqvarna Construction) har deltagit genom att framgångsrikt anpassa och utveckla Husqvarnas handhållna najningsverktyg Knut för att fungera tillsammans med en industrirobot.

I projektet *Byggautomation - Armering* har Anders Thunell (Robotdalen), Ingemar Reyier (ABB) samt Lars Pettersson, Abubakar Khatry och Ulf Håkansson (alla tre från Skanska Stora Projekt) bidragit med viktiga arbetsinsatser och erfarenheter.

Mahdi Momeni (Mälardalens Högskola) har också bidragit i doktorand-projektet *Armeringsstation - Robottillverkning av armering,* SBUF #13556.

Ett stort tack till alla ovanstående som bidragit med värdefulla insatser i projektet, och inte minst ett stort tack till SBUF som genom sitt bidrag till finansieringen möjliggjort genomförandet av detta projekt.

Huvudförfattare till denna rapport är Martin Blohm med bidrag från Jonas Eriksson, Anders Thunell och Lars Pettersson.

Martin Blohm

2022-01-12

SAMMANFATTNING

Ett intensivt arbete pågår med att implementera automation i byggbranschen och industrirobotar är en i sammanhanget ytterst intressant teknik med sin mångsidighet och flexibilitet. Ett tänkbart användningsområde för robotar är vid tillverkning av armeringskorgar. Tillverkningen utgör idag ett tungt och tidskrävande manuellt arbete, men genom att låta robotar göra detta istället skulle flera fördelar kunna uppnås såsom bättre arbetsmiljö, högre produktivitet och högre kvalitét.

Skanska har sedan en tid tillbaka tillsammans med ABB, Husqvarna och Robotdalen drivit utvecklingsarbete inom området och tagit fram ett förslag till en automatiserad armeringsstation för tillverkning av armeringskorgar. En av utmaningarna är att få robotarna att fästa ihop armeringsjärnen med hjälp av tråd, så kallad najning. Därav startades detta separata utvecklingsprojekt som fokuserar på att ta fram ett najningsverktyg anpassat för en industrirobot.

En inledande kartläggning genomfördes för att studera vilka befintliga lösningar och utrustning det finns för maskinell najning. De olika lösningarna utvärderades med avseende på lämplighet att anpassas och användas monterade på en industrirobot. Ett handhållet najningsverktyg visade sig vara en intressant lösning att gå vidare med.

Ett samarbete inleddes med Husqvarna Construction för att gemensamt ta fram ett ändamålsenligt najningsverktyg. En robotmonterad prototyp baserad på Husqvarnas befintliga handhållna najningsverktyg Knut, togs fram och testades i armeringsstationen. Testerna genomfördes med kontinuerlig närvaro av Robotdalen, Skanska och Husqvarna, vilket gjorde beslutsvägen kort och najningsverktyget kunde snabbt uppdateras och förbättras under pågående testperiod.

Det kan konstateras att kraven i många fall blir annorlunda i en robotapplikation jämfört med ett handhållet verktyg. Knutpunktens position är viktig att systemet har koll på för att kunna placera najningsverktyget korrekt så att en fullgod najning erhålls. Samtidigt är det svårt att uppnå precision i knutpunktens placering eftersom armeringsjärnen i sig har relativt stora måttavvikelser. Tester under projektet har visat att najningsverktyget kan förses med bland annat instyrning, flytande positionering, ökad kraft och trycksensorer för att kompensera för mindre avvikelser i armeringsjärnens position. I kommande projekt kan det bli aktuellt att studera möjligheterna att använda mer omfattande sensorteknik för att hantera större positionsavvikelser.

Krav som minskar i betydelse vid robotisering jämfört med handhållet verktyg är tiden det tar att naja. Tiden för att applicera själva najningen är försumbar jämfört med tiden det tar för robotarna att hämta och placera järnen i korgen. En robot lägger heller ingen värdering i om den programmeras att stå kvar några tiondelar av en sekund extra för att hinna dra åt najningen ordentligt, innan den förflyttar sig till nästa punkt. En människa däremot, kan uppleva verktyget som långsamt om denne inte direkt kan flytta verktyget till nästa knutpunkt efter avtryckning. Än värre om en alltför snabb förflyttning skulle orsaka trassel med tråden i verktyget. Även reaktionskrafter från verktyget är av mindre betydelse så länge de är mindre än vad roboten klarar av att hålla emot, medan det handhållna verktygets upprepade belastning på en människa måste minimeras.

De versioner av najningsverktyget som tagits fram och anpassats till en robot i detta projekt är baserade på ett handhållet verktyg vilket ger vissa begränsningar vad gäller geometri och funktion. Ett najningsverktyg som från början utvecklas dedikerat för en industrirobot kan i stora delar se annorlunda ut. Verktyget och dess mekanism som utför najningen kan till exempel göras mer långsmal för att få så bra åtkomst som möjligt. Vidare kan trådmagasin och dess matning placeras på roboten istället för att vara en del av verktyget. Magasinet kan på så sätt göras större med högre kapacitet utan att påverka åtkomsten negativt. Även prototypens batteri med dess fäste försvinner på robotversionen av najningsverktyget som istället får sin kraftförsörjning via roboten.

INNEHÅLL

1. INLEDNING 5

1.1 BAKGRUND 5
1.2 SYFTE OCH MÅL 7
1.3 DEFINITIONER 7

2. GENOMFÖRANDE 9

2.1 KARTLÄGGNING, UTVÄRDERING OCH SELEKTION 9
2.2 ANPASSNING AV VERKTYG 10
2.3 FRAMTAGANDE AV VERKTYG 11
2.4 TESTER MED ROBOT 12

3. RESULTAT OCH SLUTSATSER 13

3.1 MÄNNISKA VS ROBOT 13
3.2 HANTERING AV POSITIONSAVVIKELSER 14
3.3 VIDAREUTVECKLAD KNUT 15
3.4 FORTSATT UTVECKLING: NAJNINGSVERKTYG DEDIKERAT FÖR ROBOT 16

LITTERATURFÖRTECKNING 18

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Ett intensivt arbete pågår med att implementera automation och industrialisering i byggbranschen. En utmaning i att industrialisera byggprocessen är att produkten byggs på plats, den är helt enkelt för stor för att byggas klart i fabrik och sedan fraktas. En annan utmaning är att produkten oftast är unik varje gång, det byggs sällan två identiska broar till exempel. Detta kräver nytänkande och kreativitet, industrins massproduktion kan inte kopieras rakt av, men mycket bra input kan hämtas därifrån. Industrirobotar är en i sammanhanget ytterst intressant lösning. Roboten är flexibel och kan lätt ställas om till att utföra olika uppgifter.

Ett område där användning av robotar är lämplig är prefabricering av armeringskorgar. Armering till större anläggningsprojekt monteras idag järn för järn direkt i formen, alternativt byggs armeringskorgar ihop på arbetsplatsen för att sedan lyftas på plats. I båda fallen är detta idag ett tungt och tidskrävande manuellt arbete (Bild 1.1.1).

Bild 1.1.1 Manuellt bygge av armeringskorgar vid Norra Länken, projekt NL11

Skanska har sedan 2014 arbetat med frågan om armering kan monteras med hjälp av industrirobotar. Arbetet har i huvudsak skett i samarbete med ABB och Robotdalen.

Frågeställningen har studerats i flera utvecklingsprojekt, bland annat inom området banplanering [1]. Robotrörelserna beräknas här med utgångspunkt från en digital tvilling av den armeringskorg som ska tillverkas. De beräknade robotrörelserna omfattar bland annat najningspositionerna för najningsverktyget. Uppgiften om hur industrirobotens position ska beräknas i förhållande till najningspunkten ingår således inte i detta projekt.

Vidare har två mindre studier i form av SBUF-projekt och examensarbeten studerat frågeställningar kring utmattningshållfastheten hos robotsvetsad armering [2] och frågeställningar kring hur en digital tvilling av en armeringskorg kan användas som utgångspunkt för en beräkningsmodell där bland annat korgens bärförmåga vid lyft kontrolleras [3].

I det pågående Vinnova-projektet Byggautomation-Armering har en automatiserad armeringsstation i skala 1:2 tagits fram bestående av tre industrirobotar i en gantry (Bild 1.1.2). Med denna station skall två olika typer av armeringskorgar byggas. Korgarna byggs parallellt med det teoretiska arbetet med att ta fram algoritmer för robotrörelserna och den tillhörande installationsordningen. Byggandet med armeringsstationen möjliggör att algoritmerna kan provas i laboratoriemiljön och vid behov justeras. Knutet till detta projekt pågår även ett doktorandprojekt [4], delvis finansierat av SBUF.

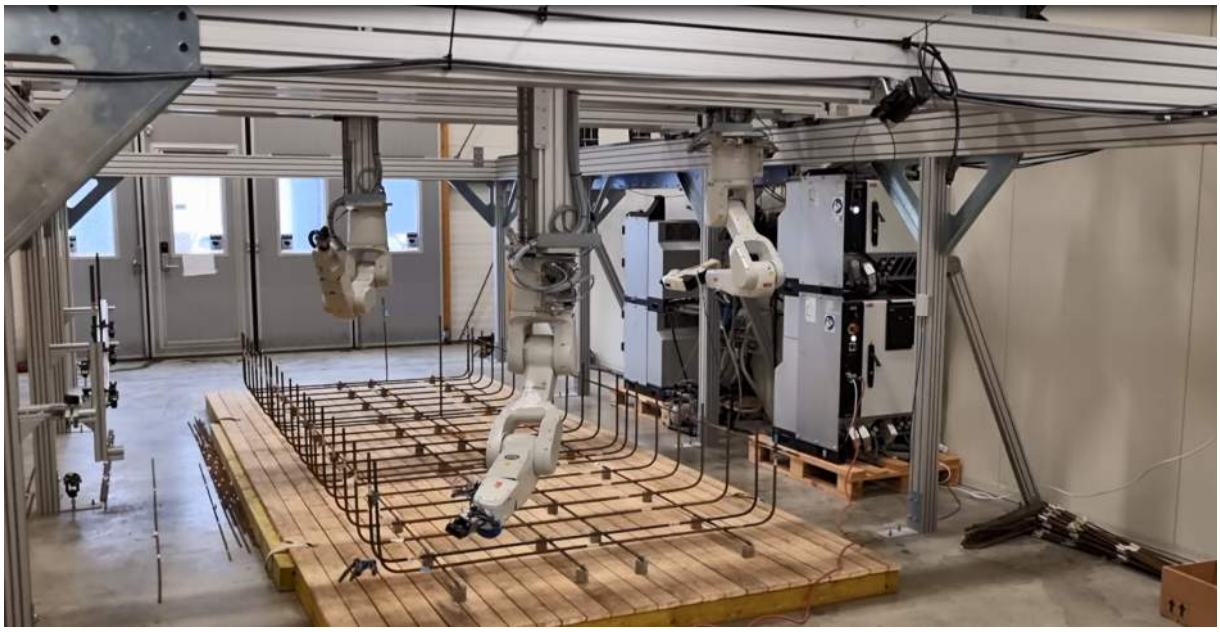

Bild 1.1.2 Automatiserad armeringsstation skala 1:2

En av utmaningarna har visat sig vara att få robotarna att fästa ihop armeringsjärnen med hjälp av tråd, så kallad najning (Bild 1.1.3). Skanska har även inom detta område genomfört SBUF-projekt gällande alternativa ihopfogningsmetoder [5]. Robotar är väl lämpade att använda vid svetsning, dock är det i praktiken inte möjligt att idag svetsa ihop armeringskorgar till högt utmattningsbelastade konstruktioner. Detta på grund av att stora spänningsvidder kräver så omfattande kontroller att svetsning i dagsläget inte är ett alternativ. Najning kommer således under överskådlig framtid att vara den dominerande metoden och en viktig funktion för att den robotiserade armeringsstationen skall få ett brett användningsområde och kunna ersätta manuellt installerad armering i stor utsträckning.

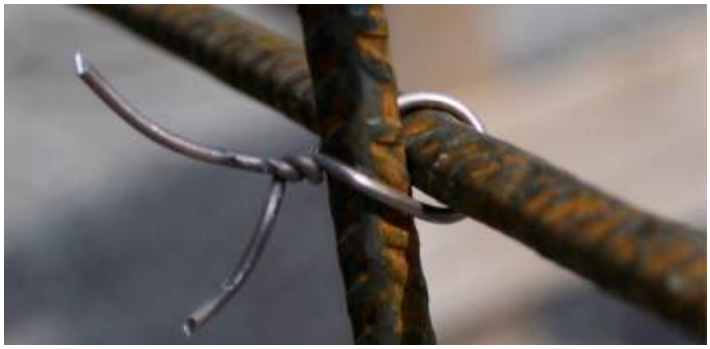

Bild 1.1.3 Ihopnajade armeringsjärn

Tidigare undersökningar visar att de najningsverktyg som finns på marknaden idag främst består av handhållna enheter eller inbyggda enheter i stationära maskiner för fabrikstillverkning. Robottillverkarna är främst inriktade på att utveckla och leverera själva roboten med dess styrsystem, medan specialiserade företag inom robotapplikation och industriautomation tillverkar verktyg och övrig kringutrustning till automatiserade produktionslinjer. Utvecklingen är därmed nästan helt inriktad mot tillverkningsindustrin som i dagsläget är en betydligt större marknad än byggindustrin. Här behöver således byggbranschen själva gå in och aktivt driva utvecklingen. Skanska har redan påbörjat detta arbete i och med de utvecklingsprojekt som tidigare genomförts och fortfarande pågår inom området. Att nu ta ytterligare ett steg i denna process genom att ta fram ett najningsverktyg, är en viktig pusselbit för att få helhetskonceptet med den robotiserade armeringsstationen att fungera.

1.2 Syfte och mål

Hur kan ett najningsverktyg utformas som är tänkt att monteras på en industrirobot? Denna fråga har studerats i detta projekt med målet att ta fram ett robotmonterat najningsverktyg att praktiskt testa i en automatiserad armeringsstation.

Najningsverktyget är en viktig del av den robotiserade armeringsstationen och bidrar till att utveckla nya effektiva byggmetoder med hjälp av automation, som förbättrar såväl produktivitet som arbetsmiljö i bygg- och anläggningsbranschen.

I ett större perspektiv bidrar denna utveckling till att det tillkommer ny kompetens inom automation i byggbranschen, vilket är viktigt för att utveckla branschen och möta framtida utmaningar avseende effektivitet, kvalitét, säkerhet och inte minst miljö.

1.3 Definitioner

Armeringskorg: Armeringsjärn sammansatta till en enhet redo att gjutas in i betong

Automatiserad armeringsstation: En station för automatisk tillverkning av armeringskorgar med hjälp av industrirobotar och med en digital tvilling av armeringskorgen som utgångspunkt

Banplanering: Programmering av den förflyttning roboten skall göra från en punkt till en annan

Digital tvilling: Digital 3D-modell av i det här fallet den armeringskorg som byggs i den automatiserade armeringsstationen.

Gantry: Portal som förflyttar industrirobotarna i x, y och z-led i den automatiserade armeringsstationen.

Knutpunkt: Den punkt där två armeringsjärn möter varandra och där najning skall utföras

Najning: Sammanfoga armeringsjärn med hjälp av tråd

Najningsverktyg: Den enhet som utför själva najningen: matar fram tråd, trär tråden runt armeringsjärnen, drar åt tråden, tvinnar ihop trådändar och klipper av.

Najtråd: Tråden man najar med

Näbb: Delen längst fram på najningsverktyget som har kontakt med armeringsjärnen.

2. GENOMFÖRANDE

Projektet genomfördes i fyra steg enligt nedan. Tidplanen har synkats mot tidplanen för Vinnova-projektet Byggautomation – Armering.

1. Kartläggning, utvärdering och selektion (April 2020-September 2020)
2. Anpassning av verktyg (Oktober 2020-Maj 2021)
3. Framtagande av verktyg (Juni 2021-Juli 2021)
4. Tester med robot (Juli 2021-December 2021)

2.1 Kartläggning, utvärdering och selektion

Projektet inleddes med en kartläggning av befintlig maskinell utrustning, verktyg och metoder för najning världen över. Kartläggningen genomfördes med internetsökningar i kombination med erfarenheter från tidigare utvecklingsprojekt. Flera spännande lösningar studerades såsom najningsverktyg monterad i portalrobot, en självgående najningsvagn som använder armeringsjärnen som räls, och även en drönare som flyger runt och najar där den landar. Gemensamt för dessa är att de alla utför najning ovanifrån vilket ger begränsningar vid byggande av olika typer av armeringskorgar.

Fokus riktades ganska snart mot handhållna najningsverktyg då det är dessa som bäst möter de krav som en robotmonterad lösning kräver:

- Kompakta yttermått
- Låg vikt
- Fungerar i alla riktningar (ovanifrån, uppochned, vriden etc.)

Detta resulterade i att Husqvarnas handhållna najningsverktyg Knut (Bild 2.1.1) valdes ut som ett potentiellt utgångsobjekt att anpassa för robotmontage. Husqvarna Construction AB kontaktades och visade stort intresse att delta i projektet då man även inom Husqvarna var i ett intensivt utvecklingsskede av Knut-verktyget och såg stor nytta i de erfarenheter som utvecklingen av en robotanpassad version kunde bidra med.

Bild 2.1.1 Handhållen version av najningsverktyget Knut

2.2 Anpassning av verktyg

För att få så mycket erfarenheter som möjligt inför robotanpassningen testades en handhållen Knut vid ett manuellt bygge av en armeringskorg vid ett av Skanskas projekt i Kungens kurva, Stockholm (Bild 2.2.1). Korgen byggdes här upp järn för järn och kartlades noggrant för att säkerställa att korgen var komplett och att alla järn hade korrekt utformning. Armeringskorgen var densamma som senare skulle byggas i den automatiserade armeringsstationen, och här fanns möjlighet att testa åtkomst och känslighet mot olika typer av avvikelser i vinkel och läge hos såväl armeringsjärn som verktyg (Bild 2.2.2). Regelbunden uppföljning gjordes på plats av Skanska och Husqvarna gemensamt samtidigt som korgen byggdes. Feedback från de tester som utförts har sedan gått direkt till Husqvarnas utvecklingsteam och har haft en direkt inverkan på huvudfunktionerna i den handhållna versionen av Knut. Initialt upptäcktes problem med att få tillräckligt hårt åtdragna knutar varpå Husqvarna justerade geometrin på flertalet delar i mekanismen som hanterar tråden i verktyget. Parametrar såsom tajming och kraft hos najningsverktygets olika moment justerades också. Internt har Husqvarna provkört fler än 10 olika varianter av najningsverktyget för att få fram en lösning som uppfyller de krav som ställs. Även på plats i Kungens kurva gjordes justeringarna löpande i flera steg och verifierades allteftersom med tester. Resultatet av justeringarna påvisade tydliga förbättringar i åtdragningsförmåga samt möjlighet att hantera ett större spann av olika diametrar på armeringsjärnen med likvärdigt resultat. Trots förbättringar, gick det redan här fastställa att najningsverktygets korrekta position i förhållande till knutpunkten är av stor betydelse för ett bra resultat på najningen.

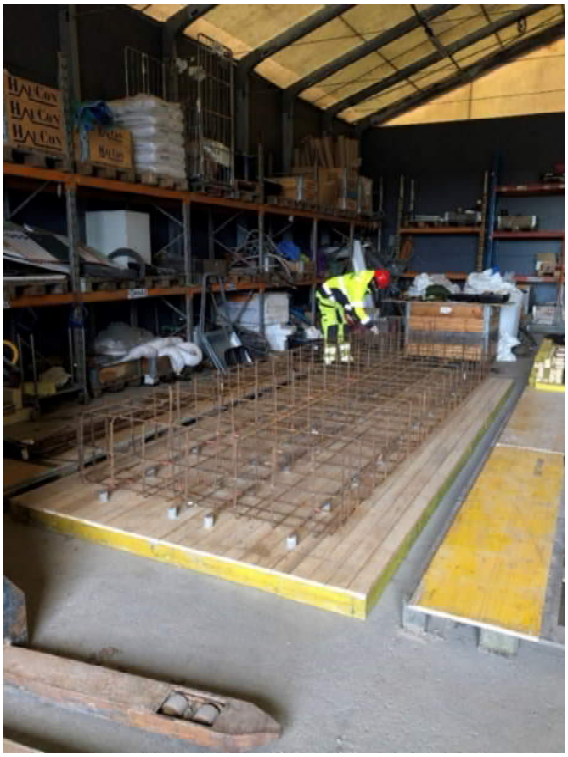

Bild 2.2.1 Manuellt bygge av armeringskorg

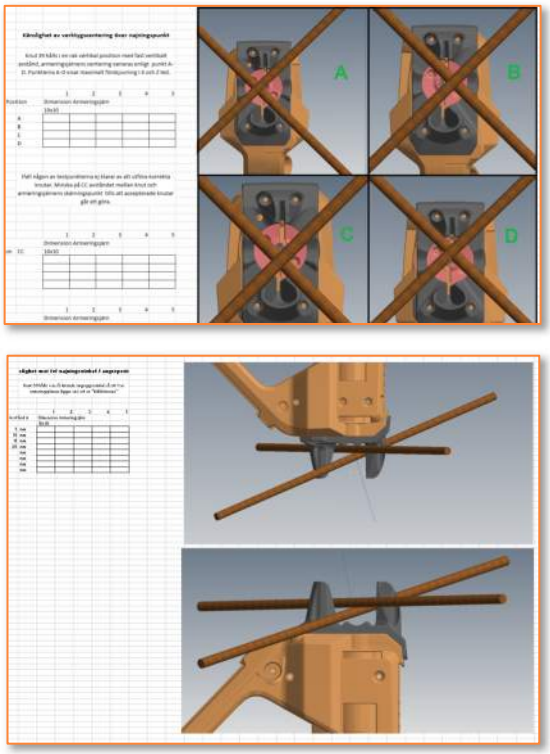

Bild 2.2.2 Testprotokoll läges/vinkelavvikelser

2.3 Framtagande av verktyg

Förutom utförda justeringar av najningsmekanismen, behöver även verktygets yttre anpassas för robotmontage. Nya kåpor (Knuts hölje) anpassade för montage mot robotens verktygsväxlare designades och 3D-modellen delgavs robotprogrammerarna i ett tidigt skede, som därmed kunde lägga in najningsverktygets geometri och anpassa robotens rörelser för att undvika kollisioner. Från 3D-modellen 3D-printades sedan kåporna för att bygga ihop ett robotanpassat najningsverktyg. För att aktivera själva najningen utrustades Knut med en pneumatisk cylinder som styrs av roboten. Längst fram på cylinderns kolvstång sitter en magnet som Knut känner av när den kommer nära och startar najningen, precis som om en person tryckt på avtryckaren (Bild 2.3.1).

Ett mjukvarugränssnitt mellan Knut och robot utvecklades så att roboten kan få information om när knuten är klar och om den är korrekt utförd. Kommunikationen sker via ett USB-interface på Knut som läses av en mikrodator som trådlöst skickar vidare informationen till roboten.

I samråd med Husqvarna togs beslut om att behålla befintlig trådmatning samt dess placering av magasin, då parametrar och geometri för trådmatningen kräver precision och omfattande utprovning för att fungera. Att ändra på detta bedömdes ta för stora resurser i anspråk i relation till vad det skulle bidra med till resultatet inom ramen för detta projekt. För kraftförsörjning bibehölls befintligt batteri för att lägga tid och resurser på att lösa det som är unikt för en robotanpassad variant av ett najningsverktyg jämfört med ett handhållet.

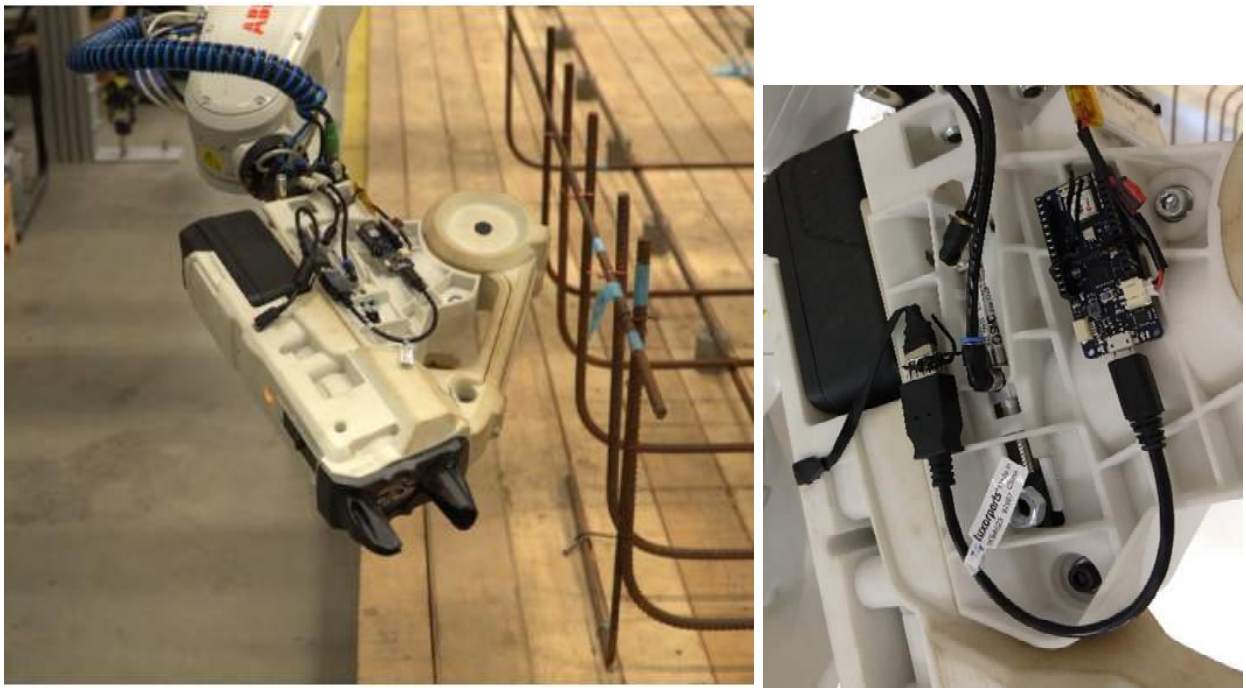

Bild 2.3.1 Robotanpassad version av najningsverktyget Knut. Närbild på mikrodator och pneumatisk trigger.

2.4 Tester med robot

De praktiska testerna med den robotanpassade versionen av najningsverktyget genomfördes i den automatiserade armeringsstationen i skala 1:2, uppbyggd i en industrilokal i Västerås. Armeringsstationen består av en gantry med tre industrirobotar, varav två hämtar och placerar armeringsjärn och den tredje är försedd med najningsverktyget som najar ihop järnen (Bild 2.4.1).

Testkorg nr.1 är den manuellt byggda korgen från Kungens kurva som transporterades ihopsatt till Västerås, där den monterades ned i sina beståndsdelar inför att återigen bli ihopbyggd, men denna gång av robotar. Testkorgen består av c:a 700 najningspunkter och är en kopia i skala 1:2 av armeringskorgen till bottenplattan i stöd 4 för bro till Slammertorpsvägen, Mälarbanan.

Testerna av najningsverktyget pågick parallellt med programmering och banplanering för alla tre robotar. Åtkomst och najningarnas kvalitét testades och följdes upp kontinuerligt av projektgruppen och flertalet modifieringar utfördes under pågående testperiod, bland annat med hjälp av 3D-printade delar. En detalj som det lades ned mycket arbete på var att hitta en bra form på najningsverktygets ”näbb”, det vill säga verktygets främsta del som gränslar armeringsjärnen när najningen skall utföras.

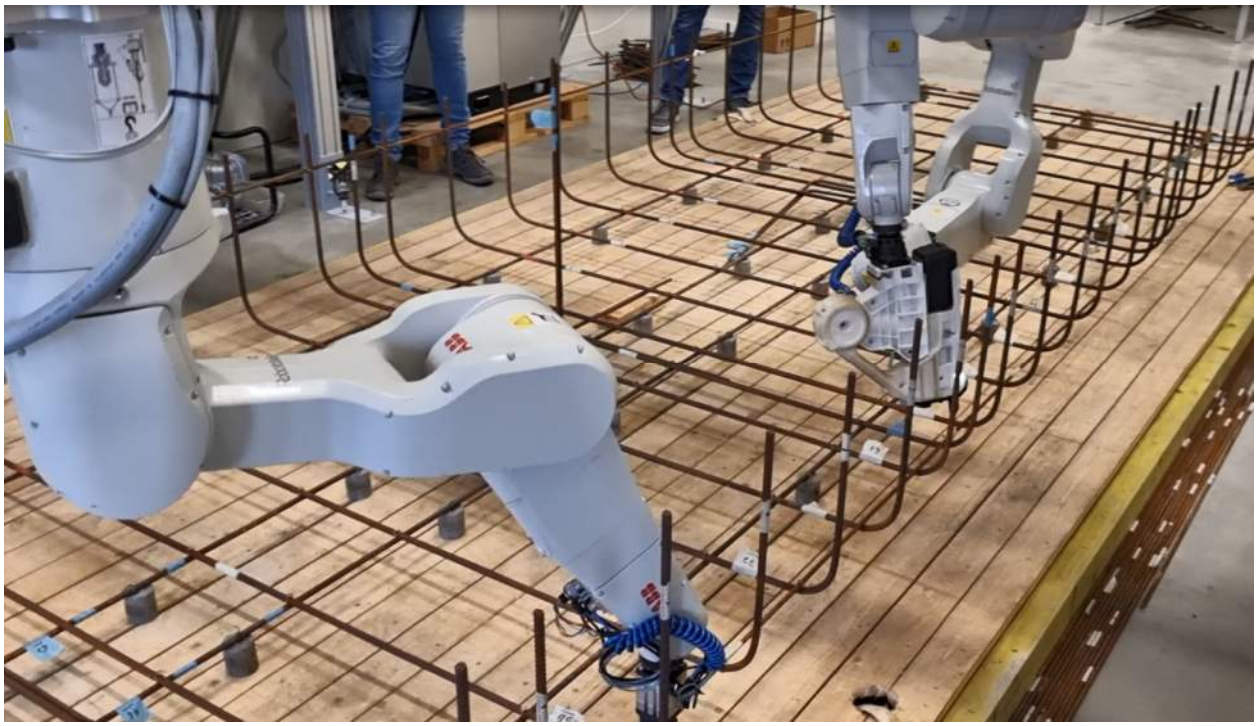

Bild 2.4.1 Två robotar hämtar och placerar, den tredje najar

3. Resultat och Slutsatser

3.1 Människa vs Robot

Såväl det manuella som det automatiserade bygget av armeringskorgen har bidragit med värdefulla erfarenheter i utformandet av ett robotanpassat najningsverktyg. Med robotisering tillkommer nya krav medan andra försvinner.

Testerna visar till exempel att det är viktigt med korrekt position av knutpunkten. Roboten går till en teoretiskt fix koordinat och lägger najningen där, utan hänsyn till verkliga förhållanden. En människa använder syn och känsel för att lägga an najningsverktyget och placera detta så korrekt som möjligt över knutpunktens verkliga position.

Näbbens geometri är också en viktig parameter. Dels för åtkomst, dels för vilket stöd den ger under själva najningsmomentet. Flertalet versioner av näbbar togs fram under projektets gång som för varje uppdatering blev lite bättre anpassad till robotapplikationen. Den mest lyckade näbben visade sig bli en smal och relativt kort variant, som också har urgröpningar för armeringsjärnen vilket ger ökat stöd vid najningen (Bild 3.1.1).

Bild 3.1.1 Näbb med urgröpningar för knutpunkter såväl med korslagda järn som parallella järn (överlappsskarv)

Exempel på krav som försvunnit, eller i alla fall minskat i betydelse, är hastigheten på att lägga knuten. En människa vill lägga an verktyget, trycka av och kort därefter flytta verktyget till nästa najningspunkt. Efter man tryckt av måste alltså najningen slutföras snabbt och det är en fråga om tiondels sekunder om verktyget skall upplevas som långsamt eller snabbt. För att inte tala om hur eventuella problem med trådtrassel orsakat av att verktyget flyttas innan najningen var slutförd, skulle kunna bidra negativt till användarupplevelsen. Det är alltså den upplevda snabbheten som styr hur verktyget måste agera. Roboten däremot gör exakt som den blir tillsagd. Ska den stanna ett visst antal tiondels sekunder efter att najningskommandot aktiveras, så gör den det och lägger ingen värdering i huruvida det upplevs långsamt eller snabbt. Denna tidsfördröjning är heller inte

kritisk för armeringsstationens totala hastighet. Tiden är försumbar jämfört med tiden för hämtning, förflyttning och placering av järn. En fördel med att ha mer tid för att lägga najningen, är möjligheten att kompensera för vissa lägesavvikelser. Till exempel hinner verktyget dra ihop järn som inte riktigt ligger an mot varandra med hjälp av tråden innan ändarna tvinnas ihop och klipps av.

Även reaktionskrafterna som najningsverktyget ger upphov till är av mindre betydelse i en robotapplikation. Så länge krafterna är lägre än vad roboten klarar av att hålla emot hålls verktyget stilla på samma position. En människa är inte lika digital i detta avseende. Förmågan att motverka reaktionskrafter beror på person, teknik, dagsform, trötthet, läge, uppmärksamhet etc, varför reaktionskrafterna bör minimeras. Robotens högre acceptans för reaktionskrafter gör att najningsverktygets olika moment kan göras kraftfullare för att till exempel dra ihop armeringsjärn med hjälp av trådens åtdragning eller förflytta järnen något med verktygets näbb.

3.2 Hantering av positionsavvikelser

Det är dock bara mindre positionsavvikelser som kan avhjälpas med justerade tider och kraft i najningsverktyget. Projektgruppen kom i ett tidigt skede in på diskussioner att förse verktyget med instyrning. En idé på detta tema är att ha någon form av flytande funktion som styr in verktyget till korrekt position vid kontakt med de korslagda armeringsjärnen. Ett sätt att uppnå detta är att göra själva näbben inklusive najningsmekanismen rörlig, alternativt sätta hela verktyget på någon form av flytande fäste. En utmaning med detta är att verktyget måste återgå till ett nominellt läge inför nästa najning, annars vet inte systemet var verktyget befinner sig och positionen vid nästa knutpunkt kan bli fel. Ett sätt att komma runt detta problem är att låta roboten utgöra den flytande delen av systemet. De ABB-robotar som används i armeringsstationen kan utrustas med ett så kallat soft mode, vilket innebär att roboten tillåter en viss avvikelse från planerad bana då en yttre kraft påverkar den. Fördelen med denna funktion är att roboten då håller reda på avvikelsen från sin teoretiskt korrekta bana, och kan återgå till korrekt position så snart den yttre kraften försvinner. Det fanns dock inte möjlighet att testa någon flytande funktion inom ramen för detta projekt.

Om den flytande funktionen kan kompensera för positionsavvikelser i sidled återstår att hantera avvikelser i djupled. Är knutpunkten för nära, krockar najningsverktyget med armeringsjärnen och skjuter dem framför sig, alternativt så når roboten aldrig sin tänkta position för najning om armeringskorgen är stabil nog att hålla emot. Är knutpunkten för långt bort kan najningen helt missa eller inte bli åtdragen ordentligt. Ett sätt att hantera positionsavvikelser i djupled är att förse najningsverktyget med känsel. Najningsverktyget försågs under testerna med en trycksensor som då den ger signal i ett visst positionsintervall som motsvarar var knutpunkten bör vara, aktiverar najningen (Bild 3.2.1). Testerna gav lovande resultat, men visade också att det förmodligen krävs flera trycksensorer för att få en tillförlitlig funktion.

Bild 3.2.1 Tryckkänslig sensor monterad i näbben

Armeringsjärnen har idag en relativt stor måttavvikelse vilket ger en avvikelse mellan teoretisk och faktisk position av knutpunkterna. Att göra najningsverktyget mindre känsligt för positionsavvikelser med justerad mekanik och sensorer är därför av stor vikt för att hantera de förhållanden som gäller idag. I framtiden kan det som ett komplement vara intressant att också kravställa armeringsjärnens måttriktighet för att bidra till att öka knutpunkternas positionsnoggrannhet.

3.3 Vidareutvecklad Knut

Knut kan i den testade versionen återkoppla viss information. Bl.a. återkopplas driftstörningar, men också antalet utförda najningar kan skickas till robotens styrsystem för att tala om när det är dags att byta trådrulle t.ex. Under projektets gång tog Husqvarna fram en vidareutvecklad version av en robotanpassad Knut med delvis ny layout med annan placering av batteri bland annat (Bild 3.3.1). Men framförallt har den nya versionen utökad möjlighet till kommunikation via mjukvara, vilket innebär att verktyget aktiveras direkt via styrsignal istället för via tryckluftsdon, samt har betydligt större kapacitet för återkoppling av data. Tyvärr drabbades Husqvarna liksom många andra företag under 2021 av omfattande förseningar av komponenter, varför de planerade testerna med den uppgraderade versionen av Knut aldrig hanns med inom ramen för detta projekt. Den vidareutvecklade versionen kommer dock att testas inom ramen för Vinnova-projektet under 2022.

Bild 3.3.1 Vidareutvecklad version av robotanpassad Knut

3.4 Fortsatt utveckling: Najningsverktyg dedikerat för robot

De versioner av najningsverktyg som tagits fram och anpassats till en industrirobot i detta projekt är baserade på ett handhållet verktyg, vilket ger vissa begränsningar vad gäller geometri och funktion.

Ett najningsverktyg som från början utvecklas dedikerat för industrirobot kommer i stora delar se annorlunda ut.

- Verktyget och dess mekanism som utför najningen kan göras mer långsmal för att få så bra åtkomst som möjligt. Detta är en önskvärd utveckling även med det faktum att armeringsstationen och korgen i detta projekt var i skala 1:2, medan najningsverktyget var i skala 1:1, vilket förstås inte gav helt rättvisa förhållanden vad gäller åtkomst.
- Trådmagasin och dess matning placeras längre bak på roboten och kan på så sätt göras större med högre kapacitet utan att påverka åtkomsten negativt.
- Batteriet med dess fäste försvinner på robotversionen av najningsverktyget som istället får kraftförsörjning via roboten.

- Sensorer för att hitta korrekt läge för knutpunkten
- Aktiveras via styrsignal
- Återkoppling av status för respektive najning (lyckad/ej lyckad)
- Najningsrapport för hela korgen (är korgen komplett, alla najningar lyckade etc.).

De planerade fortsatta testerna under 2022 med den vidareutvecklade versionen av Knut inom ramen för Vinnova-projektet, kommer att ge ytterligare viktiga erfarenheter att ta med sig till nästa steg. Utvecklingsarbetet med den automatiserade armeringsstationen kommer att fortsätta och najningsverktyget är en viktig del att vidareutveckla i symbios med övriga delar i projektet. Idéer om fortsättningsprojekt finns redan nu och formerna för dessa förväntas mejslas ut under första halvan av 2022.

LITTERATURFÖRTECKNING

[1] Relefors, Johan, Byggautomation – Banplanering och demonstrator för robottillverkade armeringskorgar. SBUF #13666. 2021

[2] Kjellgren A, Utmattningshållfasthet hos robotsvetsad armering. Examensarbete vid Lunds Tekniska Högskola. SBUF #13745. 2019

[3] Larsson, A och Pettersson, M, Lifting prefabricated reinforcement cages. Examensarbete Luleå Tekniska Universitet. 2021

[4] Momeni, M, et al, Automated fabrication of reinforcement cages using a robotized production cell, Automation in Construction. 2021

[5] Kettil, P, Sammanfogning och fixering av armering. SBUF #12525. 2012