

Castellon - Brunelleschis runtomsvängande kran

Ulf Lidberg



Handledare: Göran Andersson
Examensarbete 20 poäng
Bygghantverkprogrammet
Hösten 2006



G Ö T E B O R G S U N I V E R S I T E T
Institutionen för kulturvård/ Hantverksskolan Dacapo
2007:1

Innehåll

INLEDNING	3
Utgångspunkter och problemformulering	3
Syfte	4
Frågeställning och avgränsning	4
Metod	5
Castellon i litteratur och arkiv	6
Vertikala lyft	7
Horisontell förflyttning	8
Byggnadsmaterialets tyngd	8
Muskelkraft	10
MODELLEN AV BRUNELLESKIS KRAN	11
Modellbygget – en analys av funktion och mekanik	11
Funktionell- mekanisk analys	12
Beskrivning av tillverkningen	14
Källkritisk diskussion	16
Resultat	17
KUNSKAPEN OM ENKLA MEKANISKA PRINCIPER	18
Nyttan med denna kunskap	18
Kunskapssyn och pedagogik	19
Polhems mekaniska alfabet	20
Praktiska exempel för en bättre förståelse för de enkla mekaniska principerna	20
KÄLL- OCH LITTERATURFÖRTECKNING	24
BILAGA 1 – Några definitioner	
BILAGA 2 – Proportionsmodell	
BILAGA 3 – Min slutliga modell	

INLEDNING

Utgångspunkter och problemformulering

Jag har alltid tyckt om att lösa tekniska problem. Särskilt i situationer där resurserna varit begränsade blir utmaningen större och man får tänka annorlunda och kanske i nya banor för att finna lösningen. Den största delen av min egen förståelse för att lösa tekniska problem har jag fått från min far. Jag hade förmånen att få vara med och se och hjälpa till när han löste tekniskt praktiska problem i hemmet och på sitt jobb. De tekniskt praktiska problemlösningarna i hemmet som jag fick ta del av var bl.a. byggnation och renovering av huset, underhåll och renovering av bilar och motorcyklar. Han konstruerade och byggde bl.a. en cirkelsåg, en bandsåg samt en trädgårdstraktor. Det mesta av materialet var återvunnet. Kunskaper och erfarenheter från tekniska utbildningar och yrkesområden har gjort att jag kan angripa problemen från flera vinklar, men jag menar att jag fått den grundläggande förståelsen genom att se och känna på saker i jordnära sammanhang. Min respekt för äldre tiders praktiska, tekniska kunskaper gör att jag genom ett konkret exempel vill försöka att närmare undersöka vad det kunde vara fråga om för kunskaper och göra det på ett sådant sätt att det lätt kan förstås av andra.

Professor Karl-Erik Eriksson som under större delen av sitt liv arbetat med teoretisk fysik belyser ett problem med vår minskade förståelse för praktisk kunskap:

”When I learnt my profession, theoretical physics, I was very much helped by the practical knowledge and intuitive understanding I got as a child: of everyday materials, tools and simple machines and by processes on the farms and in the workshops. Today’s society has so many processes hidden and also in the homes there is a lack of transparency. There may also be a general helplessness resulting from this.” (Eriksson 2006)

Den tänkbara hjälplösheten är dubbel: lösningen på många vardagliga praktiska problem har i vårt högteknologiska samhälle blivit en uppgift för specialister. Och när gårdagens praktiska kunskaper inte används försvinner den hos de flesta av oss och blir paradoxalt nog abstrakt - vi kan läsa om den men inte förstå eller tillägna oss den genom utövande. Jag vill göra min studie i tron att dessa kunskaper fortfarande är användbara i dagens och morgondagens samhälle.

Ytterligare en utgångspunkt är att jag tror att denna kunskap kan vi bäst ta till oss genom att praktiskt prova och lära i situationer som engagerar flera av våra sinnen. Jag tror att vi kan få en hållbarare förståelse för hur saker och ting fungerar genom att få se eller känna en verklig händelse. Får man förståelse för det verkliga behovet och funktionen hos detaljen/ämnet som man skall lära sig, anser jag att det är lättare att få inspiration och motivation och att hålla dem vid liv över tid. Jag avser inte att göra någon pedagogisk undersökning. Men i avslutningen av mitt arbete vill jag, delvis utifrån resultaten av min studie, diskutera konkreta möjligheter att tillägna sig och förstå denna form av kunskap.

Utbildningen vid Hantverksskolan i Mariestad har gett mig kunskaper i traditionella bygghantverk. Detta kombinerat med mina tidigare erfarenheter har gjort att jag har intresserat mig för de maskiner och enkla mekaniska principer som använts för att bygga komplexa och resurskrävande byggnadsverk genom historien. Boken *Brunelleschis kupol* av Ross King gjorde mig intresserad av de maskiner som användes vid det stora byggprojektet under 1400-talets första hälft. För att kunna bygga kupolen över den nya katedralen i Florens fanns behovet att kunna lyfta upp de 500 kg till 3 ton (se nedan Castellon i litteratur och arkiv) tunga stenblocken ända upp till 78 m över marken. När man fått upp stenblocken skulle de sedan läggas på plats. Detta löste Filippo Brunelleschi (1377-1446) genom att konstruera en oxdriven vinsch som lyfte upp stenblocken från marken till den aktuella byggnivån. Brunelleschi konstruerade även en 20 meter hög kran placerad uppe på kupolen (se fig. 1, sid 6) och som kunde lyfta, sidoförflytta och sänka stenblocken till sin slutliga position i kupolens valv. Kranen kom att kallas Castellon.

När jag läste texten och studerade illustrationerna i boken så dök det upp en mängd frågor som inte besvarades av författaren och inte heller belyses i annat material kring kupolbygget som jag studerat. Mitt tekniska intresse och kunskaperna om traditionellt bygghantverk gör att jag inte nöjer mig med att få veta *att* det har fungerat enligt de ganska översiktliga förklaringarna som ges – kupolen står ju där faktiskt som ett av världens märkligaste byggnadsverk. Jag vill försöka förstå alla de problem och valmöjligheter som man stod inför när det gäller material, hantverksteknik, konstruktionsmetoder och framför allt mekaniska principer¹. Långt ifrån alla dessa frågor har besvarats av litteraturen. Jag vill veta ganska exakt *hur* det gjordes och fungerade.

Syfte

I ett tidigare, mindre arbete behandlade jag Brunelleschis oxdrivna vinsch (Lidberg 2006). Jag vill nu försöka analysera Brunelleschis kran för att förstå hur den fungerade och efter vilka mekaniska principer den arbetade genom att bygga en modell av kranen. Modellen byggs så att den går att använda och funktionen ska praktiskt kunna provas av andra. Vid min presentation av vinchen fick jag mycket positiv respons på mitt sätt att försöka förklara de enkla mekaniska principer den byggde på. Det gör att jag utifrån den här studien också vill försöka utveckla diskussionen om på vilket sätt vi kan lära oss om de enkla mekaniska principer som var en stor del av gårdagens praktiska, tekniska kunnande.

Frågeställning och avgränsning

Frågor som dök upp under läsningen av *Brunelleschis kupol* och som fördjupades under mitt föregående arbete med vinschen var exempelvis: Vilka material användes till de olika delarna och på vilka grunder tog man fram dimensionerna med hänsyn till hållfasthet, yttre faktorer som t.ex väderlek.

¹ Med mekaniska principer menas här främst de enkla maskinerna se Bilaga 1

Hur tillverkade man de olika delarna till kranen? Hur flyttade man den – var den demonterbar? Hur löste man kommunikationen under användning? Hur löste man friktionen i kranens många rörliga delar. Men främst undrar jag alltså hur Brunelleschis kran fungerade. Vilka mekaniska principer hade man kännedom om - teoretiskt eller erfarenhetsmässigt - som kom till praktisk användning vid det stora kupolbygget?² Då jag har valt att använda modellbygge som huvudsaklig undersökningsmetod vet jag att ytterligare detaljfrågor kommer att dyka upp under undersökningens gång. Jag redovisar dessa detaljfrågor tillsammans med undersökningen. Beroende på den stora kranens komplexitet och källmaterialets otillräcklighet främst i fråga om dimensioner (se Castellon i litteratur och arkiv) kommer jag att avgränsa den detaljerade redovisningen framför allt till kranens funktion och de mekaniska principerna med vilka kranen arbetade.

Metod

Litteraturen om kupolbygget vid den stora domen i Florens, Santa Maria del Fiori, är omfattande. Det finns också ett rikhaltigt material kring de hjälpmedel i form av maskiner som vinschar och kranar som användes under det långvariga bygget. Jag har gått igenom de delar som varit intressanta för den här studien. En del ytterligare material hade varit önskvärt att få kännedom om men tiden har inte räckt till då det finns på museer och arkiv utomlands.³

I inledningen av undersökningen görs en beskrivning och tolkning i text och ritning utifrån källmaterialet jag använder: ritningar, illustrationer, bilder och text i litteratur. I undersökningen ingår en redogörelse bestående av fotografier, egna skisser/ritningar på olika tekniska detaljlösningar samt nedskrivna funderingar kring konstruktionslösningar och funktion hos kranen.

Jag valde att bygga en principmodell av kranen eftersom en modell är tredimensionell och ger mer tydliga och direkta svar på frågor om funktion och mekanik som man inte får från ritningar, illustrationer, bilder och text. Jag hävdar att man lär sig med alla sinnen, alltså måste jag själv bygga modellen för att känna mig trygg i förståelsen av kranen. Och för att jag skall kunna använda kranen som förklaringsmodell måste jag själv förstå den i alla dess delar. Med min frågeställning om hur det faktiskt fungerade i praktiken är modellen brutal i sitt sanningskrav jämfört med andra undersöknings- och framställningsformer. Antingen fungerar det eller också inte. Om det inte fungerar gör man en felsökning som bygger på nya frågor och antaganden och sedan provar man på nytt. Själva modellen blir på detta sätt ett resultat av en funktionell mekanisk analys.

² Om kunskapen var ”teoretisk” eller erfarenhetsvunnen problematiserar jag inte ytterligare här och det är inte föremålet för min undersökning. Utifrån egen erfarenhet lutar jag åt att det var en blandning från de olika kunskapstraditionerna.

³ I synnerhet det material som finns vid The Institute and Museum of History of Science i Florens.

Modellen hjälper mig också att redogöra för och förklara de mekaniska principerna. Man kan redovisa dessa både matematiskt och grafiskt, vilket idag är det vanligaste sättet. Avslutningsvis vill jag som nämnts tidigare diskutera mitt sätt att förstå och förklara genom att jämföra med annan pedagogik inom detta område. Här ges också praktiska förslag på hur man kan tillgodogöra sig förståelsen för två av de enkla principer/maskiner som kranen bygger på: skruven och hävstången.

Castellon i litteratur och arkiv

En del av det utländska materialet har inte varit åtkomligt för mig under tiden för det här arbetet som jag nämnde inledningsvis. Det som hade varit mest intressant att ta del av är materialet på The Institute and Museum of History of Science i Florence. Där finns modeller av den oxdrivna vinschen och den runtomsvängande kranen som båda konstruerades av Brunellesci. Jag har alltså fått nöja mig med andra publicerade källor.

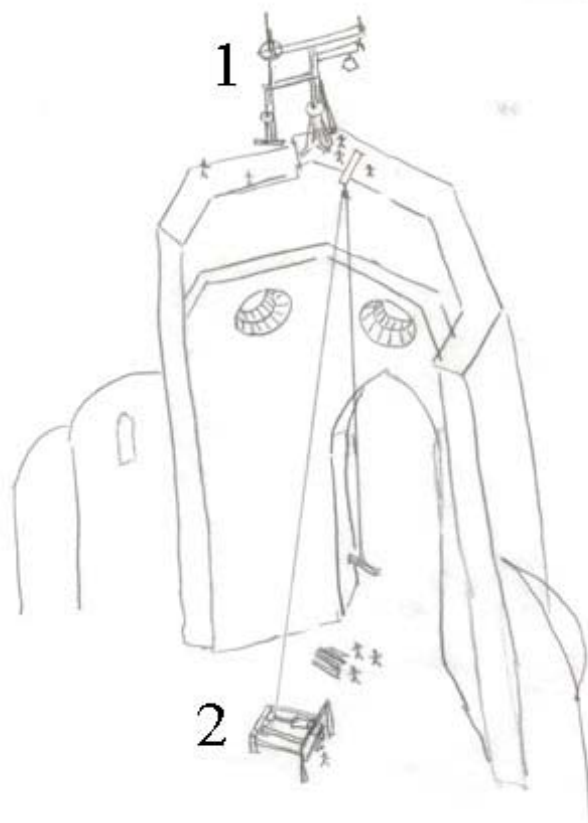


Fig. 1. Kranens placering enligt Saalman. Enligt The Institute and Museum of History of Science i Florence var kranen däremot placerad på en ställning i kupolens mitt. Kranens funktion var enligt institutets uppfattning att färdigställa The Oculus (ögat), den allra översta delen av kupolen. I markplanet syns den oxdrivna vinschen som transporterade upp byggnadsmaterialet till olika nivåer i den stora domen. Illustration av författaren efter Saalman (1980). 1- Kranen placerad på kupolens kant. 2- Den oxdrivna vinschen placerad på marknivån inne i Katedralen.

Howard Saalman beskriver kranen under namnet *Castellon* som The great crane (Saalman 1980, s.158-160). Saalman berättar att den första stenkedjan vid kupolens fot byggdes med den oxdrivna vinschen men med den gamla kranen *Stella* från 1413. Mot slutet av 1422 klarade inte den gamla kranen *Stella* att göra det jobb som behövdes för det fortsatta arbetet. Vad som behövdes nu var en kran med större räckvidd och bättre positioneringsflexibilitet. Önskemålet var att kranen minst skulle ha en räckvidd motsvarande oktagonens halva sida (*se fig. 1*). Saalman antar att kranen *Castellon* inte fungerade som övre lyftpunkt för den oxdrivna vinschen. Han menar att man kunde använda en utstickande bjälke varsomhelst på muren som övre lyftpunkt. När sedan lasten nått arbetsnivån kunde kranen *Castellon* ta lasten och placera den på sin slutliga plats. På detta sätt kunde kranen arbeta under tiden som den oxdrivna vinschen hissade upp nästa last.

Byggandet av den nya kranen *Castellon* startade i april år 1423 och var i det stora hela färdig till sommaren samma år. Howard Saalman hittade information om de huvudsakliga beståndsdelarna på kranen samt illustrationer på kranen i Bounaccorso Ghiberti's *Zibaldone* och i Leonardo da Vincis *Codex Atlanticus*. Enligt Saalman köptes följande material in år 1423: Åtta stora furubjälkar mellan den 15 april 1423 och maj samma år, sex stycken med längden 10,2 m samt två med okänd längd. Två almstammar med en längd på 4,5 m.

Vertikala lyft

Beteckningarna inom parentes hänvisar till figuren på sid 9 samt motsvarande delar på min modell

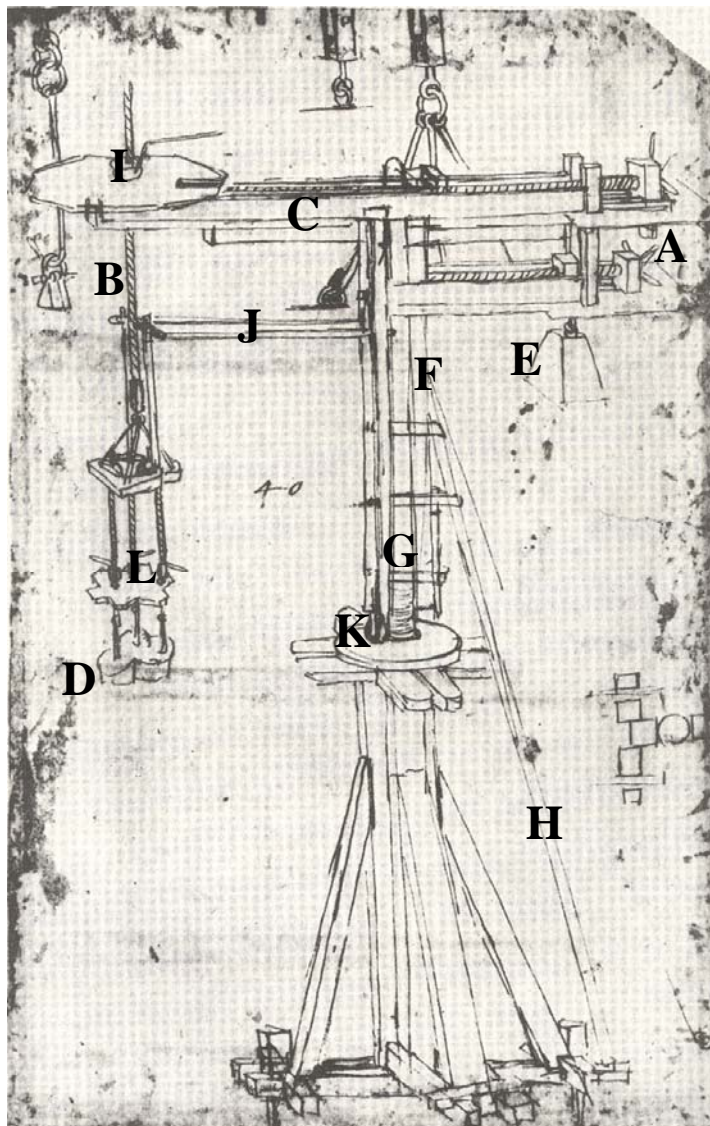
Saalman talar om en vertikal positioneringsmekanism som återfinns på den av Leonardo och Ghiberti illustrerade kranen. En mekanism bestående av en vertikal skruv som flyttas vertikalt med hjälp av en stång som snurrar en slags mutter. Detta sköts av en operatör som står på en oktagonalt formad platta genom vilken den vertikala skruven passerar. Vidare i texten står det om inköp år 1423 av en valnötsstam av ospecificerad längd. Saalman tror att stammen skulle användas för tillverkningen av de två horisontella skruvarna på kranen (A). I juni 1423 införskaffades en 1,73 m lång bit virke av olivträd. Saalman antar att detta stycke skulle användas till den vertikala skruven (B). I juli 1423 var kranen klar att använda. Howard skriver att den gamla kranen *Stella* och den nya *Castellon* mycket väl kan ha arbetat tillsammans, eftersom de hade olika funktion. *Castellon* var en kran som kunde placera tunga laster på en exakt position. *Stella* kunde ta hand om sekundära lyftoperationer vid kupolens fot sedan de vinschats från marknivån.

Horisontell förflyttning

Författarna Prager och Scaglia (Prager, Scaglia 1970, s. 78-80) beskriver kranen med två horisontella skruvstyrda glidbanor (C), vars uppgifter var att förflytta lasten (D) och motvikten (E). De två glidbanorna var monterade på ett vertikalt stativ (F) som i sin tur var monterat runt en stolpe (G) vilket möjliggjorde rotation. Med en ”rorkult” (H) svänger man in glidbanorna (kranen) i position. Sedan vrider kranens personal skruvarna som flyttar lasten så att den hamnar över den slutliga positionen. På motsvarande sätt flyttas motvikten. Slutligen vrider operatörerna på den stora ”muttern” (I) som är ansluten till den vertikala skruven som sänker ner lasten till sin slutliga position. En horisontell ”pinne” hindrar skruven att rotera (J). Författarna frågar sig hur stenarna kom till kranen från att ha blivit upphissade med den oxdrivna vinschen. De säger att texterna som de använt inte säger något om detta.

Byggmaterialets tyngd

Det förefaller inte finnas några uppgifter om hur stora tyngder som kranen kunde hantera. Däremot finns det flera olika uppgifter om den oxdrivna vinschens kapacitet. Prager skriver i ett tidigare verk att den oxdrivna vinschen lyfte stenar med en vikt av 500 kg upp till 3 ton från marknivån upp till byggnadsställningen ca 80 m upp i kupolbygget (Prager 1950, s. 517). Ross King uppger att den oxdrivna vinschen som lyfte laster från marknivå till den aktuella byggnivån kunde lyfta en last på ca 500 kg, ca 80 m på 13 minuter. Han anger också att samma vinsch lyfte sandstenar i form av balkar som vägde nästan två ton. För att kunna placera dessa sandstensbalkar krävdes en maskin som var kapabel att med små rörelser upp, ned och sidledes placera sandstenarna på sin exakta position (King 2001, s. 58-69). Någonstans nära tre ton bör alltså vara vikter som kranen hantera.



A – Horisontella skruvar som reglerar lasten och motvikten horisontellt.
 B – Vertikal skruv som höjer och sänker lasten.
 C- glidbanor(bommar) där glidstyckena glider.
 D – lasten(stenblock).
 E – Motvikt.
 F – Vertikalt stativ(övre stativ).
 G – Stolpe (mittpost) som det övre stativet roterar runt.
 H – med vilken operatören roterar kranen.
 I – ”Muttern” som vid rotation gör att den vertikala skruven rör sig vertikalt.
 J - de horisontella ”pinnar” eller stag som de kallas på min modell förhindrar den vertikala skruven att rotera.
 K - hjulet som hjälper till att reducera friktion på plattformen på det undre stativet.
 L – tre vantskuvar som gör det möjligt att hålla lasten i våg eller i lutning.

Fig. 2. Skiss ritad av Leonardo da Vinci, ur (King 2001:58-69).

Ross King skriver att succén med Castellon var anmärkningsvärd med tanke på att man på den tiden saknade förståelse för hållfastheten hos olika material. Han fortsätter att säga att det var den franska ingenjören Claude-Louis Navier som först år 1813 matematiskt beskrev böjhållfastheten hos bjälkar/bommar (King 2001, s. 68). Uttalandet är enligt min mening anmärkningsvärt och intressant utifrån mina utgångspunkter för det här arbetet. Ross förefaller utesluta en *erfarenhetsvunnen förståelse* för olika materials hållfasthet. Det förefaller orimligt att författaren verkligen menar detta. Men det ger ändå en antydning om en uppfattning att en teoretiskt beräkning, av i detta fall ett materials egenskaper, är det som räknas som en ”riktig” förståelse. Jag tänker anknyta något till detta i min avslutning.

Muskelkraft

Enligt hemsidan för *The Institute and Museum of History of Science i Florence* var kranen mer än 20 m hög. Kranen användes till att placera de tunga stenar och marmorblock som behövdes för att bygga den octagonala ring som utgör basen för kupolens lanternin. Kranen användes även till att färdigställa domens ”öga” den allra översta och slutliga del som kallas *The oculus*. Kranen kunde rotera 360°. Hjulet (K) som sitter längst ner på det övre stativet hjälpte till att reducera friktionen som uppstod av rotationen på plattformen på det undre stativet. Tre s.k. vantskruvar (L) gjorde det möjligt att hålla lasten i våg. Till detta kan läggas att Ross King pekar på att sandstensbalkarna (lasten) placerades snedställda vid sin slutliga position, vilket också låter sig göras med hjälp av vantskruvarna. Det krävdes fyra man för att manövrera kranen. En man som roterade kranen, en till att vrida den horisontella skruven för motvikten och en till att vrida den horisontella skruven för att flytta lasten radiellt. En man skötte den vertikala skruven. Jag undrar om det inte behövdes en ”bromsare” vid rorkulten också, eftersom det måste bli ett ganska stort moment (rotationskraft) när väl kranen kommer i rotation. En annan fråga är hur man skötte vantskruvarna. Om vantskruvarna sköttes av personal på marken förstår jag inte varför de var placerade så högt upp. Stämmer det att kranen sköttes av bara fyra man så var det väl använd muskelkraft, på modernt maskinspråk, hög verkningsgrad.

Sammanfattar man dessa källor så får man lite olika information om hur Castellon var konstruerad och av vad. Uppgifterna om hur mycket den egentligen kunde lyfta och vilken räckvidd den hade är svåra att tyda. Placeringen av kranen är också olika beroende på vilken källa man vill lita på, Saalman eller Museet i Florens. Museet i Florens nämner det hjul som finns monterat på det övre stativets nedre del och att dess uppgift var att minska friktionen när man vred på kranen. Materialet till kranen sägs enligt Saalman ha varit fur och alm till kranen, valnöt till de två horisontella skruvarna samt olivträ som han antar skulle vara till den vertikala skruven. En anmärkningsvärd uppgift saknas och det är om stenarna (lasten) behövde vridas och hur man gjorde i så fall.

Att bygga en modell utifrån dessa olika uppgifter blir till stor del gissningar. Det som däremot kan tydas av bilder och text och som genomgår alla källor är kranens funktion och på vilka mekaniska principer den bygger. Jag har byggt utifrån dessa källor med inriktning på funktionen. Jag valde att främst titta på Leonardos skiss när jag byggde min modell.

MODELLEN AV BRUNELLESKIS KRAN

Modellbygget – en analys av funktion och mekanik

Av ovanstående genomgång av mitt källmaterial framgår att uppgifterna om kranens exakta utseende, dimensioner och kapacitet helt enkelt inte gör det möjligt att bygga en exakt skalmodell. Materialet möjliggör inte någon närmare precisering av kranens delar utifrån de upplysningar vi får om funktionen. Jag vet inte precis hur tung last den skulle bära och inte heller hur högt den lyfte, och inte hur stor aktionsradien var eftersom jag inte vet var kranen var placerad.

Följande, antaganden av större betydelse för det här arbetet, har jag därför tvingats göra:

- mått och dimensioner på samtliga delar till modellen
- glidstyckenas utseende och funktion
- hur glidstyckena var sammanbundna med varandra
- lagringen mellan övre och undre stativ
- mittpostens infästning i det undre stativet

Informationen jag fick fram var så bristfällig att det inte var meningsfullt att göra några ritningar innan jag startade modellbygget. Jag gjorde istället en första modell (se bilaga 2) efter befintlig information och de tankar som uppkom i görandeprocessen. Modellen gjordes genomgående i furu och med spikar som sammanfogning. Denna modell tog tre dagar att tillverka. Jag fick då en förutsättning för att få en verklig känsla av kranens funktion och utseende. Kranens aktionsradie påverkas av bommens längd samt det nedre stativets utbredning, bredd. I mitt fall så är modellen flyttbar vilket gör att jag väljer en bredd som gör att kranen står stadigt. På illustrationer (se fig. 2) kan det se ut som det undre stativet varit fastsatt i underlaget. Detta skulle göra att man kan minska på det undre stativets bredd med bibehållen aktionsradie. Längden på bommarna är uppskattade förhållanden från bilder och illustrationer. Det var först när den första modellen i furu var färdig som jag hade förutsättningar att börja bygga den slutgiltiga modellen (se bilaga 3), den som beskrivs nedan.

Ett av de första intressanta problemen var hur man möjliggör överdelens rotation på och kring underdelen. Befintlig information avslöjade att det fanns ett hjul på överdelen som rullar på underdelens runda platta. Tog detta hjul tillsammans med axeln upp summan av de vertikala lasterna? (se bild). Detta verkar inte som en bra lösning eftersom man uppenbarligen bemödat sig om att kranen skall arbeta med jämvikt. Man kan förvisso låta hjulet vara mittpunkt och placera hjulet så att den sammanlagda vertikala kraften från överdelen till största delen tas upp av någon av de fyra vertikala stödpelare på det undre stativet. Mittstången skulle då endast fungera som stöd mot horisontella krafter från lasten och motvikten samt vindlaster.

Tittar man på de illustrationer som jag tidigare beskrivit och på de foton som finns från museet i Florens så ser det ut som att mittposten passerar upp genom de båda övre bommarna med oförändrad dimension

(<http://brunelleschi.imss.fi.it/ingrin/index.html>). Modellen i Florens har ett hjul av metall som rullar på en platta av trä. För mig känns det som om träet i detta fall skulle deformeras av den stora punktlast som skapas av den sammanlagda vikten från hela det övre stativet och det smala metallhjulet. Detta är också en anledning till att låta mittposten bära den vertikala lasten.

Funktionell- mekanisk analys

Jag tog fram två tänkbara lösningar, se fig. 3 . Jag valde den senare lösningen (nr.2 i figuren), eftersom den centrerar den totala lasten i toppen av mittposten. Denna lösning gör det möjligt att använda lösa slitbanor runt om tappen och även på mittpostens horisontella ytor som efterhand byttes ut. Var mittposten verkligen lagrad i toppen och inte i botten? Om mittposten lagras i botten måste det finnas någon form av lagring där mittposten passerar den runda plattform som hjulet rullar på. Detta för att ta upp ev horisontella krafter som kan uppstå under vridning tillsammans med vindlaster samt situationer när kranen ej är i jämvikt. Detta känns som en dålig lösning eftersom man då skulle kunna få nötning på mittpostens mittpunkt, ett mycket känsligt ställe att få en försvagning på. Resultatet blir alltså att mittposten blir fastmonterad i bottenstativet.

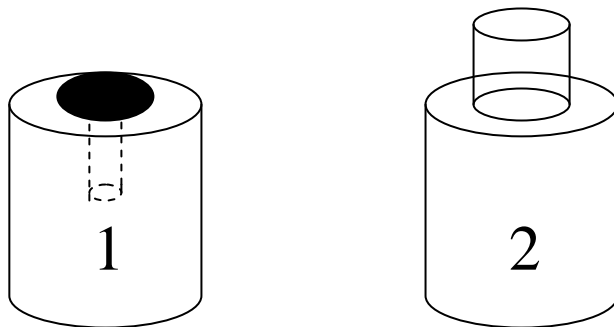


Fig. 3. Alt 1 visar toppen av mittposten med en järndubb nerkörd i virket. Alt 2 visar en avsmalning av mittposten.

Stagen som förbinder de båda övre glidstyckena skall också monteras på glidstyckena. Detta påverkar också glidstyckenas utseende och dimension som i sin tur påverkar avståndet mellan bommarna. Stagen måste vara centriskt monterade kring skruven för att förhindra att denna går trögt. Om man belastar bommen med både last och motvikt får man en nedböjning. Detta påverkar i sin tur infästningen av stagen på glidstyckena, infästningen måste vara lite rörlig annars kärvar skruven i glidstycket(muttern) se bild. Hur löste man friktionen mellan glidstyckena och bommarna? Fanns det rullar eller hjul på glidstyckena? På modellen använde jag stearin som jag gnuggade in med en bit kork. Skruvarna behandlade jag på samma sätt.

Avståndet mellan de översta bommarna och motviktsbommarna påverkas i modellens fall av diametern på de båda horisontella skruvarnas vred (vevhandtag). Den vertikala skruven måste på något sätt fixeras radiellt eftersom muttern skall snurra runt skruven, motsats till de horisontella skruvarna. Jag trodde till en början att de två stag som går från den vertikala skruvens nedre del mot det övre stativet hade som funktion att verka som

stabilisator för lasten. Tittar man i kranens längdriktning så kan inte stagen ta upp någon horisontell last. Tittar man 90 grader tvärs denna riktning så finns det möjlighet för stagen att ta upp horisontell last under förutsättning att stagen rör sig i de vertikala geidrarna med så lite glapp som möjligt (se bild 1). Anbringas man geidrarna tätt kring stagen finns det risk att det hänger upp sig under vertikal förflyttning av lasten. Alltså kan inte stagen gå helt tätt i geidrarna. Slutsatsen blir att stagens huvudsakliga uppgift blir att hålla fast skruven radiellt så att muttern kan vridas och få skruven att röra sig vertikalt. Min modell (se bild 1) skiljer sig från Leonardos skiss (se fig. 2) vad gäller stagen som förhindrar den vertikala skruven från att rotera. Jag gjorde det valet som en förenkling och möjlighet att korta ned längden på den vertikala skruven. Det kan vara så att det fanns en finess med att ha stagen utformade som i fig. 2. Möjligheten att vrida lasten(stenen) runt sin egen axel går bra på min modell men kanske var stagen löst förankrade mot plattan på i fig. 2? Detta skulle kunna öka rotationsmöjligheten ännu mer.



*Bild 1. Pilarna visar horisontell rörelse orsakad av eventuell vindlast eller hastig rotation av kranen isin tur orsakad av operatören vid "rorkulden".
Foto U Lidberg.*

Stagens egenvikt utgör ett moment på plattan monterad på den vertikala skruvens nedre del. Jag trodde att detta skulle kunna bli ett problem eftersom momentet från stagen kan skapa en böjning av den vertikala skruven. Det skulle få till följd att den vertikala skruven kan kärva när den skruvas genom muttern. När kranen gick att provköra så visade det sig att det inte var ett problem eftersom lastens tyngd skapar ett moment som balanserar upp stagens moment. Det visar sig att även utan last tar skruven själv hand om momentet från stagen utan att det ökar friktionen i muttern.

Beskrivning av tillverkningen

För tillverkning av skruvarna provade jag furu, ask, björk och ek. Jag hade inte tillgång till oxel eller syren som med tanke på dess seghet och styrka antagligen hade varit bra. Jag använde ett gängsnitt och en gängtapp med en gängdiameter på 19 mm. Björk fungerade bäst. De svåraste med tillverkningen av skruvarna var egentligen svarvningen av rundstången. Med en diameter på 19 mm och en längd på 50 cm uppstår en svängning av materialet när man roterar det i svarven. Det gäller att sätta an dubbdockan så löst som möjligt utan att man tappar greppet från chucken. För att undvika vibrationer håller man fingrarna löst runt svarvämnet och tummen på järnet så att fingrarna fungerar som stöd och vibrationerna försvinner. Nästa svårighet är att hålla samma diameter svarvämnets hela längd. Jag försökte även svarva den långa mittposten, det var svårt och jag bestämde mig för att hyvla fram den i stället. Skruvarnas diameter påverkar glidstyckets dimension som i sin tur påverkar avståndet mellan bommarna.

Jag provade att först använda furu som material till stagen sedan med björk som är något tyngre och som finns med i konstruktionen, det fungerade också bra. Plattan som sitter i den vertikala skruvens nedre ände, låste jag fast genom att borra och plugga fast skruven med plattan. För att centrera mittstången i botten på det undre stativet tog jag en fyrkantig askbit med samma dimension som det fyrkantiga hålet i det undre stativet. Sedan borrade jag hål i askbiten med samma dimension som mittstången. Askbiten limmas sedan fast i botten av stativet, sedan är det bara att stoppa ner mittposten i det undre stativet så sitter den centrerad.

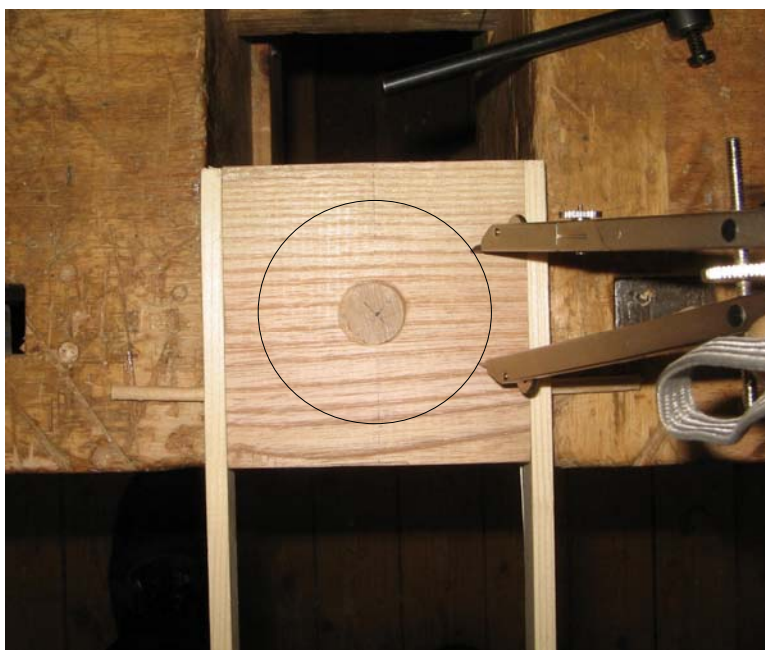


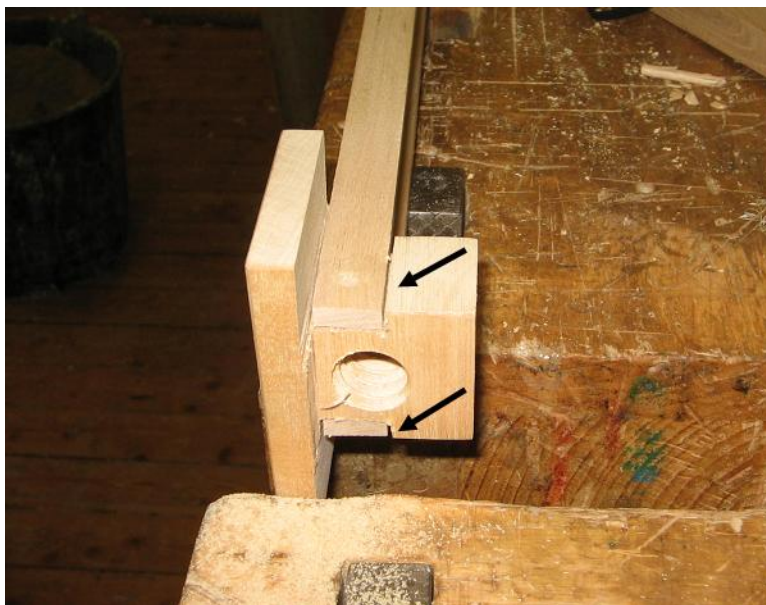
Bild 2. Indelningen av de tre lyftpunkterna gjorde jag med hjälp av en passare och en bestämd cirkeldiameter. Jag ställde in passaren på cirkelns radie, sedan delade jag med hjälp av passaren upp cirkeln i sex delar varav tre blir lyftpunkterna

Foto U Lidberg.

För att få en känsla för vilka tyngder som verkar vettigt att använda vid en demonstration av kranen använde jag hinkar och sand. När de övre bommarna belastades med en sammanlagd vikt av 10 kg + 10 kg (se bild 3) så började dom att böja sig, detta gjorde att den översta skruven började gå trögt. Jag hade medvetet fäst stagen i glidstyckena med tappar så att stagen skulle kunna röra sig något. Uppenbarligen var detta inte tillräckligt. Jag fick helt enkelt såga lite och skapa större rörelsefrihet för stagen och glidstyckena (se bild 4).



*Bild 3. Kranen belastas med 10 kg + 10 kg
Foto U Lidberg.*



*Bild 4. Ytorna mellan stag och glidstycke sågades upp ytterligare vid pilarna
Foto U Lidberg.*

De tre vantskruvarna är tillverkade av 3 mm svetstråd som jag tagit av i längder och gängat i ändarna. ”muttern” är gjord av kopparrör en 3 mm mutter är fastlödd i ändarna. Som handtag sitter det en liten dyckert i varje vantskruv. Motvikten är av järn och av samma vikt som stenen. Vantskruvar och motvikt är målade med matt svart färg. Motviktens infästning i glidstycket utgör en punktbelastning på träet i glidstycket. Här har jag valt att breda ut lasten över glidstyckets längd (se infästning på modellen).

Tittar man på källorna jag använt mig av (se kapitlet *Castellon i litteratur och arkiv*) så får vi inte så mycket information om dimensioner och mått. Det är nästan omöjligt att bilda sig någon uppfattning om de olika skruvarnas gängor med avseende på, diameter eller stigning. På modellen i The Institute and Museum of History of Science i Florens ser det ut som om den vertikala gängan är av metall(<http://brunelleschi.imss.fi.it/ingrin/index.html>). I Saalmans beskrivning får man uppfattningen att den vertikala skruven skulle kunna vara tillverkad av olivträ (Salman 1980, s. 158-160).

Med detta bristfälliga bakgrundsmaterial kan det tyckas irrelevant att göra några analyser överhuvudtaget. Det kan ändå vara viktigt att få en känsla för vad som känns bra respektive mindre bra. När jag provade att hantera 19 kg + 19 kg så visade det sig att den vertikala skruven går väldigt trögt, de horisontella skruvarna samt glidstyckena går relativt lätt. Att svänga hela kranen går utan problem. Skulle man här göra en bedömning så är det den vertikala skruven som är begränsningen i konstruktionen. Man kan inte heller göra någon egentlig jämförelse mellan modellens kapacitet att hantera last och hur en fullskalemmodell skulle hantera lasten. Det som däremot kan konstateras är att de mekaniska principerna i kranens fall fungerar utmärkt, under förutsättning att en av kranens grundprinciper, jämvikten, hela tiden kan bemästras av kranens personal och att de horisontella bommarna är tillräckligt dimensionerande.

Källkritisk diskussion

Upprepade gånger finner man illustrationer på Brunelleschis maskiner gjorda av Leonardo da Vinci, som rimligtvis har haft stor betydelse för Saalman med flera (ovan) när det gäller att kunna föreställa sig konstruktionen som helhet. Vad da Vincis teckning visar är svårt för oss att veta. Har da Vinci, känd för avbildningar av sina många tekniska uppfinningar, sett kranen? Avbildat något efter bästa förmåga sedan han fått den beskriven.? Eller har han fått funktionen och kranens placering beskriven för sig och sedan konstruerat en maskin så som han tänkt sig att den borde ha sett ut? Leonardo da Vincis ritning har varit till stor hjälp i mitt arbete men den liksom de refererade texterna ovan innehåller stora felkällor. Därför har jag som nämnts tidigare inte kunnat bygga en helt skalenlig modell och utifrån mitt syfte ansåg jag inte heller att det var nödvändigt.

Resultat

Jag anser att jag, trots ett bristfälligt underlag för den här typen av undersökning, har nått det resultat jag eftersträvade. Bygget av modellen med de konstruktiva och mekaniska frågor jag hade för att undersöka kranens funktion har gett mig en detaljerad förståelse för hur kranen arbetade. Genom att använda modellen kan jag också förhållandevis enkelt förklara funktionen för andra. Min tanke är vidare att en annan person själv ska kunna förstå hur den fungerar och vilket arbete den uträttar genom att skruva och vrida på delarna i kranen. Ett särskilt problem i det sammanhanget är naturligtvis att få en någorlunda realistisk uppfattning och ”kroppslig” känsla för de laster kranen kan förflytta. Vår muskelkraft i händer och fingrar är stor i förhållande till den lilla modellen. I arbetet med verklighetens kran är det ju frågan om en enda mans hela kroppskraft verkligen räckte till för att manövrera en del av kranens skruvar och den ”rorkult” som det beskrivs ovan. Jag väljer att bestycka kranen (last och motvikt) med något som skulle kunna vara skalenligt även om det inte går att översätta vikt i detta fall. Detta för att kranen i det första läget (ventileringen) skall ses och inte användas vid undervisning. Skall man få en bättre uppfattning och känsla för krafterna får man öka vikten till ca 10 kg. För ventilering och visuell förståelse placerar jag ut fyra operatörer i skala (se bilaga 2).

Syftet var också att reda ut efter vilka mekaniska principer kranen arbetade. Av modellen framgår det att den bygger på två mekaniska principer⁴, nämligen jämvikten och principen om att ”det man vinner i kraft förlorar man i sträcka”. Dessa principer används i två av de s.k. Enkla maskinerna – *hävstången* (runt en balanspunkt) respektive *skruven* som kan sägas vara en komprimerad form av det lutande planet. I modellen är skruven den mest påtagliga och den finns där för att reglera flera funktioner i både det horisontella och det vertikala arbetet. Man ser det tydligt på flera ställen och förstår ganska direkt det arbete den uträttar. Hävstången kan vara mindre uppenbar men är helt central för att med hjälp av de horisontella skruvarna fördela last och motvikt kring hävstångens balanspunkt som gör att kranen inte faller omkull. Med ordentliga tyngder i lasten blir även detta snabbt uppenbart när man använder modellen. Hävstången förekommer även vid skruvarnas funktion. Handtagen till de horisontella skruvarna samt handtaget till muttern på den vertikala skruven, utgör också de hävstänger. Samma sak gäller handtagen till de tre vantskruvarna.

Dessa båda mekaniska principer, omsatta i två av de enkla maskinerna, gjorde kranens viktigaste funktion möjlig, nämligen den stora precisionen. Skruven hanterar den tunga lasten på ett säkert sätt genom att rörelsen sker mycket kontrollerat. Det som avgör skruvens stigning är följande: Skruvens lutning, friktionen mellan skruv och mutter. Arbetsförmågan hos operatören och längden på handtaget samt lastens tyngd. Jag tror att Brunelleschi, som hade växt upp bredvid byggplatsen intill Domen, hade tillgodogjort sig en förståelse genom att titta på och prova de olika tekniska lösningarna som

⁴ Det förekommer fler mekaniska principer i kranen som ex hjulet mellan det övre och undre stativet. Kilen finns som hjälpmedel för att fästa stenen till kranens tre lyftpunkter. Jag har valt vad jag betraktar som de avgörande huvudsakliga mekaniska principerna, skruven och hävstången för min studie.

användes vid byggandet av domen. Byggnadsmaskinerna var enkla och byggde på de enkla maskinerna. Detta möjliggjorde att man genom att se på dem i arbete förstod hur de fungerar. När sedan Filippo Brunelleschi själv skulle konstruera maskiner till byggandet av kupolen hade han redan en väl utvecklad förståelse för de enkla maskinerna och dessas principer.

KUNSKAPEN OM ENKLA MEKANISKA PRINCIPER

Vid min genomgång av litteraturen stötte jag på ett flertal uppgifter som berörde vilken typ av kunskap som krankonstruktören Brunellesci besatt. Inledningsvis beskrev jag hur jag själv hade inhämtat den här typen av kunskaper och att jag har ett intresse även för pedagogiska frågor kring praktiska tekniska problem. Jag instämmer också med att den okunnighet på det här området som riskerar att bli större i dagens samhälle och riskerar att leda till en hjälplöshet så som jag citerade Karl-Erik Eriksson i inledningen. Jag vill här avslutningsvis resonera något kring dessa frågor.

Nyttan med denna kunskap

Jag har av egen erfarenhet också sett att alternativen när man ska flytta och lyfta saker antingen är att ta i så att man får ont eller att beställa en maskin. En maskin ska transporteras till platsen för att ex lyfta en last på 200 kg en meter upp till en annan plats, sedan skall den köras hem. Maskinen förbrukar bränsle och kostar pengar. Det finns givetvis många tillfällen då det är självklart att välja en maskin eller kran. Men, många av jobben i byggbranschen är fortfarande småskaliga, inte minst inom den byggnadsvårdande sektorn. Då kan det vara tillfällen där det inte är ekonomiskt försvarbart att hyra in en maskin. Alltså är det väldigt bra om man på ett enkelt och säkert sätt kan flytta eller lyfta det man behöver med hjälp av någon eller flera av de enkla mekaniska principerna.

Jag anser dessutom att det är av stor vikt att lyfta fram, bevara och förvalta de enkla principerna för att lyfta och flytta tyngder av en annan anledning. Energifrågan kan användas som argument för att bevara kunskapen om de enkla mekaniska principerna eftersom vi idag slösar med energi och är ganska eniga om att slösandet inte kan fortsätta. Vi kommer inte alltid att ha tillgång till olja, vilket kommer att tvinga oss att lösa energi problemen mer resurssnålt. Genom att använda sig av någon eller flera av de enkla mekaniska principerna kan man t ex. lokalt lösa uppgiften, slippa beställa en maskin från långt håll och på så sätt på ett mer energisnålt sätt lösa flytt och lyft av tunga saker. Den enkla mekaniken kan också vara till hjälp när människan vill arbeta mer ergonomiskt. Jag tror också att man lättare kan få förståelse för vårt teknikintensiva samhälle med de enkla mekaniska principerna som utgångspunkt.

Kunskapssyn och pedagogik

I kapitlet *Castellon i litteratur och arkiv* (sid 6) nämnde jag Ross Kings häpnadsväckande uttalande om att Brunelleschi saknade förståelse för hållfasthet eftersom han inte matematiskt kunde beskriva detta.

” The success of the castello is remarkable given the lack of understanding of the strength of materials at the time.” (King 2001, s. 68)

Jag uppmärksammar detta här då jag tror att det till stora delar speglar dagens kunskapssyn kring ett sådant här ämne. Självklart är uttalandet barockt och jag tvivlar ju fortfarande på om King verkligen kan mena vad han säger. Det skulle innebära att vi inte vet något förrän det är matematiskt beskrivet. Människan skulle alltså i någon slags paradisk okunskap ha byggt hus eller konstruerat verktyg som ändå har varit tillräckligt hållbara. Jag tror inte det och tvivlar fortfarande på att King verkligen kan mena det.

Men, detta att matematiskt (eller ”teoretiskt”) förstå något – med den stora fördelen att vi ganska exakt och i förväg kan beräkna hållbarheten, och att detta inte måste bygga på personliga erfarenheter – präglar i varje fall dagens utbildningssituation i mycket hög utsträckning enligt min mening. Pedagogiken kring dessa frågor bygger till stora delar på tvådimensionella, matematiska förklaringsmodeller. Vi skall vid skrivbordet eller skolbänken tillägna oss kunskapen. Inte genom att prova där vi kan lyfta och bända, och som i det här aktuella problemkomplexet, förflytta ganska tunga saker genom att använda hävstång, hjul och skruv. Det blir inte ”kroppsliga erfarenheter”, kunskaper och erfarenheter som vi tillägnar oss med flera sinnen. Vi ska ju inte glömma bort att ”drivmedlet” i Brunelleschis kran var mänsklig muskelkraft.

Även undervisningen i detta ämnesområde på min egen utbildning, Bygghantverksprogrammet vid Institutionen för kulturvård på Göteborgs universitet, präglas av denna ”tvådimensionella skolbänkspedagogik”. Undervisningen bestod av en mycket bra grafisk metod för att förklara begreppen samt övningar. Dessa övningar var förvisso tredimensionella men jag saknade själva känslan och fascinationen av vad man kan uträtta med de enkla maskinerna. Jag menar att ex. mina tredimensionella modeller, kompletterat med fullskaliga⁵ lyft eller förflyttningssituationer med egen kroppstyngd och muskelkraft, väsentligt ökar en grundläggande förståelse för enkla mekaniska principer.⁶ Från denna grundläggande förståelse kan man sedan gå vidare med att med precision förutse lösningar genom matematiska beräkningar. Men, för många enkla problem tror jag att denna grundläggande praktiska och kroppsliga erfarenhet av de enkla mekaniska principerna är tillräcklig för att relativt snabbt och enkelt finna lösningen.

⁵ Ex att flytta och lyfta en stock som väger 500 kg

⁶ Detta är på inget sätt ett nytt pedagogiskt synsätt. Filosofen och pedagogen John Dewey skrev om detta redan under tidigt 1900-tal. Hans teser byggde på att eleverna skulle få lära sig utifrån praktiska vardagliga problem och att kunskapen skulle inhämtas genom att man aktivt fick prova och experimentera, ”learning by doing”. (Dewey 2004, s. 17). Dessa tankegångar präglar även flera pedagogiska inriktningar även idag.

Polhems mekaniska alfabet

Christoffer Polhem är känd för att ha förbättrat tekniken för att ta upp malm ur gruvor och han byggde även slussar, dammar och skeppsdockor. Polhem grundade ett tekniskt laboratorium 1697 "Laboratorium Mechanicum". Här skulle Polhem forska och undervisa sina elever, framtidens mekaniker. En del av i pedagogiken var att han konstruerade ett mekaniskt alfabet i form av en mängd trämodeller som visade olika rörelseomvandlingar. Genom att använda och se på modellerna så menade Polhem att eleverna skulle få en sådan förståelse att de sedan med hjälp av detta mekaniska alfabet kunde konstruera maskiner. Jag har besökt Tekniska Museet i Stockholm och sett delar av detta alfabet som finns bevarat där. Det stämmer väl överens med mina tankegångar kring en praktiskt teknisk pedagogik även om jag vill kombinera denna pedagogik med verkliga situationer ex flytta eller lyfta ett tungt och otympligt skåp med hjälp av de enkla mekaniska principerna. Michael Lindgren (Lindgren. 1995:119) skriver att Polhems mekaniska alfabet kopierades och användes på Teknologiska institutet som öppnade 1827 i Stockholm. Chalmers i Göteborg och andra skolor med teknisk inriktning använde sig också av det mekaniska alfabetet. 1876 övergick Teknologiska Institutet till Kungliga Tekniska Högskolan. Då hamnade modellerna på vinden för att deras praktiska budskap ansågs vara föråldrat. Lindgren skriver: "*Teorin hade segrat*" (Lindgren 1995, s. 119)

Polhems elever hade en annan förståelse och känsla för krafter än vad vi har idag. Dåtidens vanliga energikällor var vatten och vindkraft, hästar och oxar samt mänsklig muskelkraft. I dag kan vi leva nästan helt utan att anstränga oss fysiskt om vi så väljer. Då kan det vara svårt att få en tredimensionell helhetsförståelse och vi kan hamna i den hjälplöshet som Eriksson beskriver. Därför är det av största vikt att vi dammar av de gamla modellerna och börjar använda praktiken i utbildningen igen.

Praktiska exempel för en bättre förståelse för de enkla mekaniska principerna

Min tanke är alltså att för att få en bra helhetsförståelse för mekaniska principer måste man känna på dem och använda dem. I detta fall gäller det de enkla maskinerna. Jag tänker att om man får öva sig att med de enkla maskinerna lösa praktiska problem så har man sedan en känsla och en förståelse liksom "i ryggraden". När man sedan kommer inför ett praktiskt problem så ser man lösningarna framför sig. I detta fall, med min undersökning av Brunelleschis runtomsvängande kran, var det skruven och balansen/hävstången som var avgörande för kranens viktigaste funktion, nämligen den stora precisionen. Dessa två enkla maskiner kunde jag identifiera. Min tro är att även andra ganska enkelt kan komma till samma slutsats. För detta kan det krävas ytterligare någon kunskap som skulle kunna inhämtas på följande sätt.

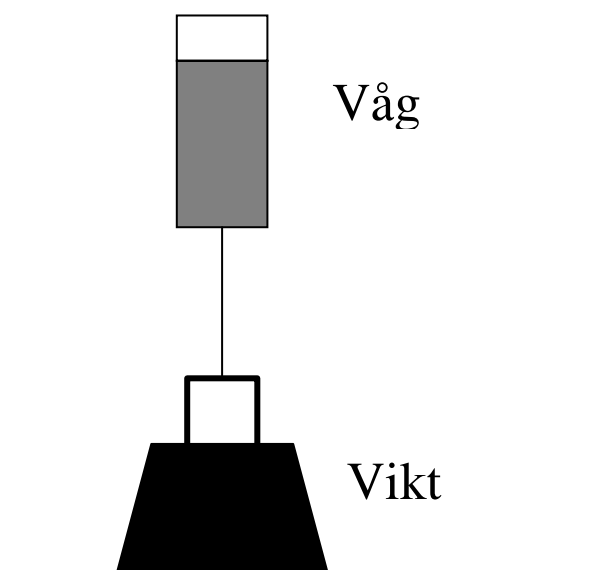


Fig. 4. En våg håller uppe en vikt. Vågen visar ex. 10 kg. Vikten får åskådliggöra vilken kraft (se bilaga 1) det behövs för att lyfta stenen rakt upp.

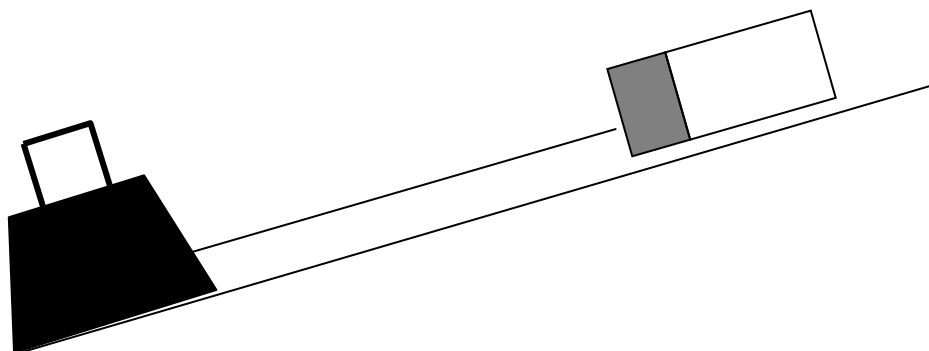


Fig. 5. När man drar samma vikt som i fig. 4 uppför ett lutande plan så kan man avläsa en mindre kraft på vågen. Genom att variera vinkeln och underlag på planet påverkas kraften som man behöver dra med. För att komma till en viss höjd får man förflytta vikten än längre sträcka än om man lyfte den rakt upp till den önskade höjden. Däremot behöver man inte använda lika mycket kraft.

En enkel maskin – det lutande planet!

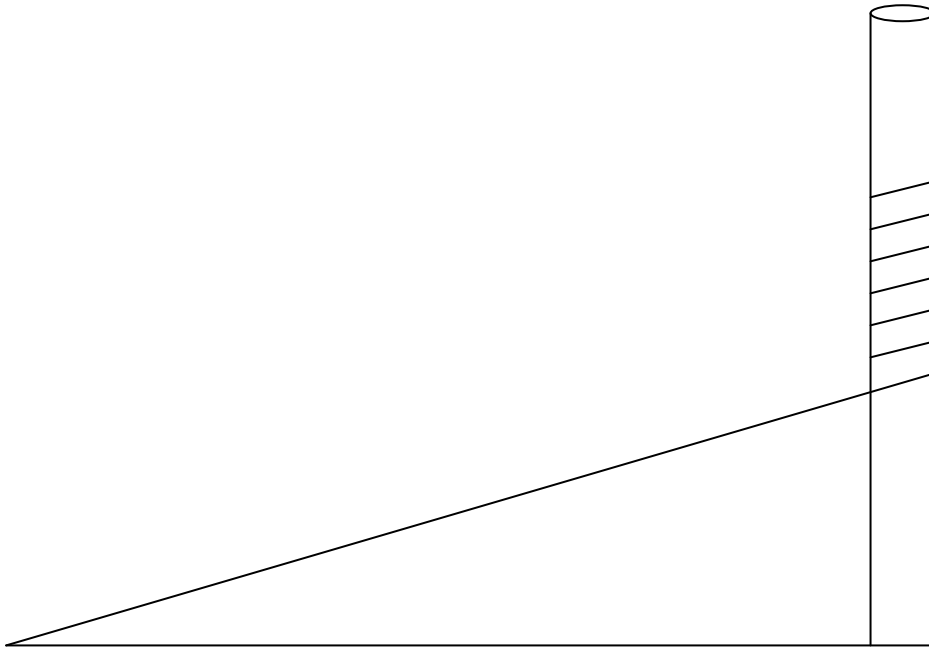


Fig. 6. Avbildar man det lutande planet på ett papper och snurrar upp det så som fig. 6 visar på en rundstav, bildas det ett spiralformat mönster(gänga) på rundstaven. Här ser man att skruven är släkt med det lutande planet.

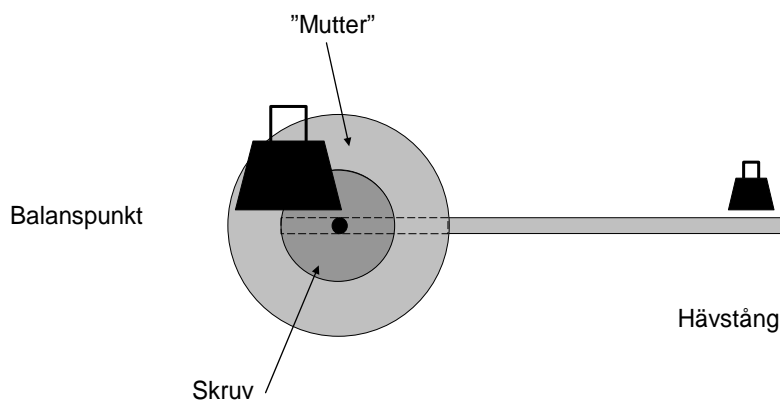


Fig. 7. Visar muttern på den vertikala skruven på min modell av kranen sedd från ovan. Fig. 7 visar också en tänkt hävstång (Lidberg 2006, s. 6) runt skruvens centrum. Den lilla vikten representerar kraften hos operatören och den stora vikten representerar den sammanlagda kraften från lasten(stenen), gängans lutning samt friktionen mellan skruv, mutter och glidstycke.

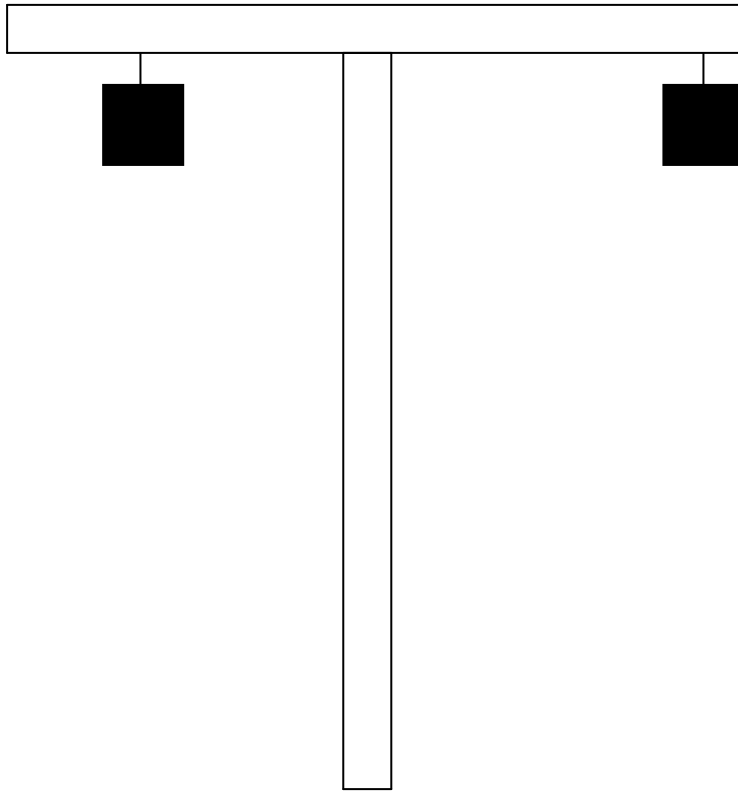


Fig. 8. Visar ett T motsvarande kranens övre stativ. Genom att hålla i den vertikala delen av T och flytta tyngderna (de svarta kvadraterna) mellan jämvikt till ojämvtikt samt rotera T. Av detta kan man få en känsla för krafterna som verkar i kranen.

Käll- och litteraturförteckning

Otryckta källor

Eriksson, K. Utskick inför dialog i Edbergstiftelsen om *Kunskap som en rätt och en skyldighet*. E-post, september 2006.

Tryckta källor och litteratur

Dewey, John (2004) *Individ, skola och samhälle: Utbildningsfilosofiska texter*. Stockholm, Natur och kultur

Ellinger, H.O.G. (1899) *Naturen och dess krafter*. Stockholm, Ljus

King, Ross (2001) *Brunelleschi's Dome : How a Renaissance genius reinvented architecture*. New York, Penguin Books

Lindgren, Michael (1995) *Några tankar kring Christopher Polhems teknikpedagogik*. Lund, Studentlitteratur

Lidberg, U. (2006) *Att lyfta en sten - så funkar det*. Göteborg, Institutionen för kulturvård/Dacapo, Göteborgs Universitet (Institutionens för kulturvård. Hantverksskolan Dacapo ; 2006:7) Examensarbete 5 p.

Galluzzi, Paolo (1997) *Mechanical marvel : invention in the Age of Leonardo*. Florence, Giunti,) Istituto e Museo di storia della scienza

Prager, Frank D. (1950) Brunelleschi's Inventions and the 'Renewal of Roman Masonry Work I: *Osiris* 9, 457 - 554

Prager, Frank D., Scaglia, Gustina (1970) *Brunelleschi: Studies of his technology and inventions*. Cambridge, Mass: The Mit Press

Saalman, Howard (1980) *Filippo Brunelleschi: The Cupola of Santa Maria del Fiore*
London: A. Zwemmer

Strandh, Sigvard (1988) *Maskinen genom tiderna*. Göteborg, Nordbok

Vasari, Giorgio (1984) *Berömda renessanskonstnärers liv*, del 1. Göteborg : Pontes. Faks. av 2. uppl., Stockholm, 1926

Elektroniska källor

The Institute and Museum of History of Science, Menyval: The revolving crane, Models, 3d simulations

<http://brunelleschi.imss.fi.it/ingrin/index.html>

Hämtat den 15 januari 2007

Tekniska museet – Christopher Polhem

<http://www.tekniskamuseet.se/templates/Page.aspx?id=2292>

Hämtat den 15 januari 2007

Google. Sökord: *Brunelleschi's 3-Speed, Reversing, Ox-Driven Hoist*. Hämtat från

<http://bdml.stanford.edu/twiki/bin/view/Brunelleschi/ThreeSpeedReversingOxDrivenHoist>

Hämtad den 16 juni 2006.

Menyval: *Brunelleschi*. Hämtat från <http://www.sciencemuseum.org.uk/online/invention/brunell.asp>

Hämtad den 16 juni 2006.

Övrig litteratur

Edman, Stefan (2005) Från förundran till förändring. I: *Pedagogiska magasinet*, nr 4 november

King, Ross (2002) *Brunelleschis Kupo I: historien om den mäktiga katedralen i Florens*. Lund, Historiska media

Leonardo da Vinci (2006) *Anteckningsböcker*. Bath, Parragon

Mainstone, Rowland J (1977) Brunelleschi's Dome. I: *Architectural Review* September, s. 157 – 166

Meriam, J.L, Kraige, L.G (1988) *Engineering Mechanics: Statics*. Vol.1, 4.ed

Meriam, J.L, Kraige, L.G (1988) *Engineering Mechanics: Dynamics*. Vol.2, 4.ed.

Zenner, Marie-Therese, Gimpel, Jean (2004) *Villard's legacy: studies in medieval technology, science and art in memory of Jean Gimpel*. Aldershot, Ashgate.

Bilaga 1 – Några definitioner

Kraft

För att förklara vad en maskin är och hur den fungerar börjar jag att förklara begreppet kraft.

Det mest påtagliga fenomen som vi människor erfar varje dag är tyngdkraften. Vi kan inte se tyngdkraften men vi kan konstatera att något drar alla kroppar mot jorden. Kraft är alltså något som är svårt att direkt se med blotta ögat, däremot kan vi känna och se hur den verkar. Genom att vara människa på jorden har vi erfarenhet av tyngdkraften och dess verkningar. Man känner ett visst motstånd i muskler och leder när man reser sig från sittande till stående. Det är tyngdkraften som drar oss mot jorden och när vi vill ställa oss upp rör vi oss i motsatt riktning mot tyngdkraften, alltså måste vi ta i lite mer, vara lite "starkare" än tyngdkraften, när vi rör oss från jorden. Om vi däremot låter oss falla mot jorden rör vi oss i samma riktning som tyngdkraften, då hjälper den oss och vi behöver inte jobba så hårt. Vi känner kraften och kan se dess verkningar.

Maskinen

När man flyttar eller lyfter något en viss sträcka brukar det benämnas som arbete. Människan har genom alla tider varit i behov av att lyfta eller flytta saker som är tyngre än vad man kan rubba med mänsklig kraft. För att lyckas med detta har man tagit hjälp av olika maskiner. Med maskinen kan man övervinna ett motstånd som är mycket större än kraften tex hävstången (se Lidberg U 2006 Att lyfta en sten – så funkar det). Man kan också använda hävstången omvänt som t ex när man rör en båt. Maskinen kan också få kraften att verka i en annan riktning t ex en enkel trissa(se Lidberg U 2006 Att lyfta en sten – så funkar det) i en flaggstång.

Gemensamt för alla maskiner är dock att man inte kan få ut mer arbete än vad man "sätter" in i maskinen. Den gyllene regeln för maskinen lyder: *Det man vinner i kraft förlorar man i väg*

De enkla maskinerna

De enkla maskinerna representeras vanligtvis av *lutande planet, kilen, skruven, hävstången, hjulet och blocket*. Dessa maskiner har varit till hjälp i forntiden för anskaffande av föda och byggande av boplatser. De enkla maskinerna utvecklades inte alla på samma gång utan tillkom efterhand. Fynd från runt 250 000 år sedan visar att kilen använts för mycket länge sedan. Sist för ca 2000 år sedan uppfanns skruven. Antalet enkla maskiner kan ibland variera eftersom de går att kombinera med varandra och därför att de består av gemensamma enkla mekaniska principer. Blocket nämns ibland som en enkel maskin och är en kombination av hjul axlar och rep. Det går också att se på hjulet, axeln och repet som en balansbräda(se att lyfta en sten). Alltså är blocket också släkt med hävstången som också kan ses som en balansbräda. Lutande planet och kilen hör till samma familj så också gängen som jag beskrivit i detta arbete. Det är därför de enkla maskinerna varierar i antal.

Bilaga 2 – Proportionsmodell



Bilaga 3 – Min slutliga modell

