

Pål Sneve Prestbakk

Prosjekt 14-2019

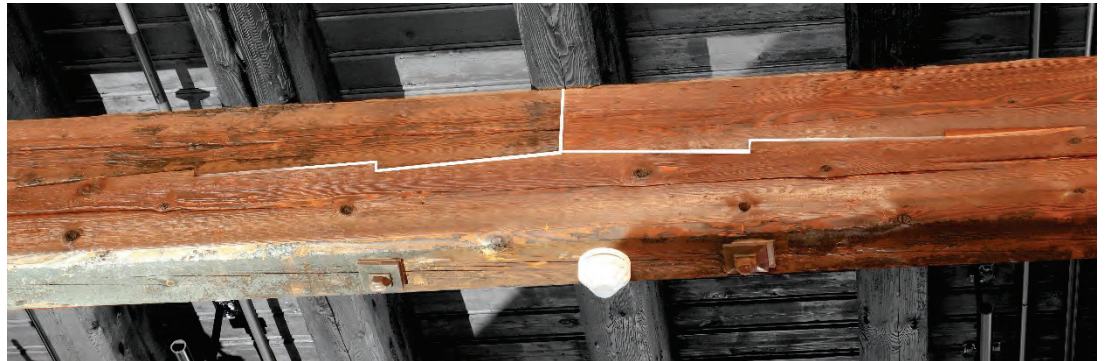
Tradisjonelle lamelldragere i Norsk byggeskikk

- Bruksområde og dokumentasjon av kammdragere fra 1600- til 1900 tallet.

Traditional composite beams in Norwegian Architecture.

- Application and documentation of composite beams from 17th to 20th century.

Salangen, Troms. November 2019



NTNU

Fakultet for arkitektur og design

Institutt for arkitektur og



NTNU

Norges teknisk-
naturvitenskapelige
universitet



**FAKULTET FOR ARKITEKTUR OG
DESIGN**

**Institutt for arkitektur og
teknologi**

7491 Trondheim

Besøksadresse : Alfred Getz vei 3

**RAPPORT
BACHELOROPPGAVEN**

Tittel

Tradisjonelle lamelldragere i Norsk byggeskikk.

-Bruksområde og dokumentasjon av kammadrager fra 1600- til 1900 tallet.

Traditional laminated beams in Norwegian Architecture.

-Application and documentation of composite beams from 17th to 20th century.

Prosjektnr

14-2019

Forfattere

Pål Sneve Prestbakk

Oppdragsgiver(e) eksternt

Ingen.

Dato levert

15.11.2019

Besvarelsen består hvor mange
del-rapporter:

2. Pdf med besvarelse og pdf med
måleskjema som vedlegg.

Veileder(e) internt

Ingen.

Rapporten er ~~ÅPEN~~/LUKKET (stryk ut det som
ikke gjelder)

Stikkord fra prosjektet

Kammadrager, fortanning, fordybling, dokumentasjon, oppmåling, handverksforsøk,
tradisjonelle konstruksjoner

Forord

Min interesse for kammadrageren vokste frem av at en utnytter treets mekaniske egenskaper for å øke kapasiteten i en drager. Jeg hadde så vidt lest om denne typen laminerte drager, men ikke sett eller hørt om drageren før jeg plutselig sto rett foran en i Trondheim i 2015.

Det faktum at drageren er sammensatt av flere emner gjør det mulig å utnytte flere korte materiallengder og kvaliteter for å bære last over større spenn, enn ved bruk av en enkelt solid drager. Dette løser vi i dag med limtredragere og andre dragere/bjelker som i hovedsak er sammensatt av tre og lim. Limtredragere har fortjent sin plass i moderne tømring, men i tradisjonen og historien finner vi kammadrageren og andre laminerte dragere, som løser samme problemstillingen med en annen tilnærming. Det er kammadragerens utforming som i hovedsak gir bæreevnen. Den er ikke sammensatt med lim, men utformet slik at kreftene jobber innbyrdes i drageren, og gir en sterk, stiv og varig drager.

Kammadrageren har de siste 100 år blitt en sjeldenhet i norsk byggetradisjon og det har vist seg gjennom studien at få tømreere, konservatorer og bygningsforvaltere kjenner til den. Med en kartlegging av noen av dragerne vi har her til lands ønsker jeg å få kammadrageren fram i lyset. Jeg mener den har et stort potensial, en plass i bygningene våre, og kan tas i bruk igjen. Ikke minst kan vi hedre tømreerne som en gang hadde dette i sin tradisjon og verktøykasse.

Jeg dannet meg et inntrykk av den begrensede mengden litteratur på feltet om at drageren hadde en typisk utforming, basert på oppgaven den skulle gjøre. At det var få praktisk gjennomførbare metoder eller teknikker en måtte bruke for å lage en kammadrager. Det skulle fort vise seg at en ikke kunne skjære alle over én kam! Mangfoldet er stort. Men hvor finner vi kammadragerne?

Gjennom utdanningen møtte jeg på en blid og entusiastisk stril fra Osterøy, han går under navnet Magne Kleiveland. Denne karen skulle vise seg å bli en nær venn og samarbeidspartner. Magne har på sin side skrevet en bachelor om grindbygg, et tema som jeg også har fattet stor interesse for. Arbeidsmetoden vi valgte for begge forskningsstudiene gjorde det hensiktsmessig å samarbeide under dokumentasjonsrunden i det lange Norge. Vi har arbeidet sammen om oppmålinger, dokumentasjonen, diskutert, testet teorier og ymset og synset i kor. Det vil komme til syne i teksten der det står «vi» - det er da undertegnede selv og Kleiveland som er representert.

Jeg vil sende en takk til alle involverte parter. Det være de som har kommet med tips og vink om hvor jeg skulle finne dragere av interesse, de som har spandert husly, mat og diesel underveis. Takk til alle som har stilt kritiske og konstruktive spørsmål ved studien.

Ingen nevnt, ingen glemte.

En spesiell takk til min bedre $\frac{3}{4}$ del som delvis frivillig har hørt på og deltatt i diskusjoner om kammadragerer i 4 lange år. Takk for at du stilte kritiske spørsmål rett før jeg skulle sove, slik at jeg også fikk brukt natten på å fundere på kammadragerer. Og for at du har brukt strengestemmen slik at jeg fikk konsentrert meg om oppgaven og ikke oljeskift på bilene. Vi er nok begge like glad for at denne bacheloren endelig er levert.

Jeg vil med dette ønske dere god lesing!

Sammendrag

De første sporene etter kammadragerne har jeg funnet i dokumentasjon fra 1400 tallet. I disse dokumentene er de ikke spesifikt nevnt med navnet som jeg bruker i denne studien, men de har klare likhetstrekk. I Norge har jeg klart å dokumentere den eldste kammadrageren tilbake til 1697, den finner vi i Oslo Domkirke. Dokumentasjonen finner kammadragerer fra Bergen i vest, Drammen i sør og Elverum i nord. Det er kommet inn tips om dragere lenger nord (Trøndelag og Finnmark) i etterkant av dokumentasjonsrunden, men dette er foreløpig ikke et bekreftet funn.

Opgavens hovedfokus har vært å finne kammadragerer, gjøre oppmålinger og dokumentere dataene. Dokumentasjon viser seg nødvendig for å forstå en del av tradisjonen og å kunne forske videre på bruksområdene kammadrageren kan ha.

Konklusjonen blir at selv om det var vanskelig å finne kammadragerer så lyktes det. Det er utfordrende å forstå egenskapene til denne drageren ettersom at de opptrer i svært varierte konstruksjoner.

Abstract

Composite beams can be documented back to the 15th century. Although the construction is not named «composite beam» the way I use it in this study, there are clear similarities. In Norway I was able to document the oldest composite beam back to 1697 as a part of Oslo Domkirke. Further documentation shows the appearance of composite beams from Bergen in the west, Drammen in the south to Elverum in the north. After the documentation I received

clues that there are composite beams further north (Trøndelag og Finnmark), but these clues are not confirmed yet.

The focus of the thesis was to find composite beams, do necessary measurements and document the data. Documentation shows itself highly necessary to understand a part of the tradition and to be able to study the ability of composite beams.

The conclusion is that however difficult it is to find composite beams it is possible. It is complicated to understand the characteristics of this type of beam since it is appearing in such a variety of constructions.

Innholdsliste:

1 Innledning	8
1.1 Bakgrunn.....	8
1.2 Bacheloroppgaven og arbeidsform	8
2 Fagterminologi	9
2.1 Måleenheter.....	11
3 Kammdrageren i historien	12
3.1 Område.....	14
4 Teori om dragere	15
4.1 Funksjon i dragere.....	15
4.2 Ulike typer laminerte dragere	16
4.3 Statisk ubestemte konstruksjoner	18
5 Problemstilling	19
5.1 Problemstilling.....	19
5.1.1 Problemstillingen leder frem til 5 forskningsspørsmål:	19
5.2 Svakheter ved studien	19
5.3 Kunnskapsbehov.....	19
5.4 Forskning på kammdrager/pågående undersøkelser.....	20
6 Metode	21
6.1 Material og empirisk fundament.....	21
6.2 «Det store laboratoriet»:	22
6.3 Registrering av data	23
6.4 Om vurdering av materialkvalitet	25
6.5 Visualisering av kreftene i drageren.....	25
6.6 Avgrensing.....	27
7 Prosessbeskrivelse	29

8	Resultat.....	32
8.1	Historisk tidslinje for kammadragerer i Norge.....	32
8.2	Kammadragerer med helt overstykke.....	33
8.2.1	Oslo Domkirke	33
8.2.2	Heradsbygd, kjeller i villa	37
8.3	Kammadragerer med delt overstykke.....	42
8.3.1	Gamle Bergen, bakeri.....	42
8.3.2	Solberg gård	46
8.4	Kammadragerer som inngår i et større konstruksjons-system	50
8.4.1	Vestre Borge gårdsbruk.....	50
8.4.2	Kongsberg Kirke	55
8.5	Kammadragerer og kammabjelker i et felles system.....	59
8.5.1	Arsenalet, Akershus Festning.....	59
8.6	Andre dragere som ikke er målt opp	63
8.7	Resultat fra oppmålingene	63
8.8	Brudd, skader og nedbøy	64
9	Konklusjon	64
10	Bibliografi.....	67

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Kammadrageren har tjent et formål i forbindelse med bæring av lange spenn i tiden før limtre-drageren gjorde sitt inntog, og i lignende situasjoner som stål og limtre-drageren benyttes i dag. Å forstå konstruksjonen er viktig for å ta vare på kulturminnene fra eldre tider, samt å danne et godt grunnlag for at kammadrageren kan tas i bruk i nåtiden.

For å kunne arbeide godt med restaurering av bygg som har kammadragerer i bæresystemet, må man forstå hva som er tanken bak de valg som ble gjort da bygget ble bygd. Våre forgjengere som sto i en trygg håndverkstradisjon, hadde kunnskapen og ferdighetene til å ta i bruk kammadrageren. For å finne tilbake til denne kunnskapen kan en prøve å gå tilbake til tradisjonen, forsøke å registrere, dokumentere og systematisere de valg som er tatt. Under dette hører handverksmessig utførelse, som for eksempel nøyaktighetsnivå og hvordan materialene er utnyttet og orientert. Like viktig er forståelsen av materialvalg, treslag, forhold mellom spennvidde i bjelkelag og den totale situasjonen kammadrageren er benyttet i. Å samle inn data fra de stående byggene kan gi oss en bedre forståelse for konstruksjonen.

På denne måten kan kammadrageren i større grad komme til anvendelse blant tømrere i dag, både i forbindelse med restaureringsarbeid og i nybygg. I mange tilfeller hvor man i dag velger en drager av stål eller limtre, kunne en heller brukt en tradisjonell kammadrager produsert av lokalt virke.

1.2 Bacheloroppgaven og arbeidsform

Ønsket mitt om å skrive om tradisjonelle konstruksjoner kom tidlig fram i utdanningsløpet på NTNU. Det gjorde det også for min samarbeidspartner og medstudent Magne Kleiveland. Dermed ble det for oss naturlig å samarbeide om oppgavene våre, ettersom vi ikke klarte å enes om et felles tema for én oppgave. Uttellingen for meg har dermed vært dobbelt så stor, da jeg har bidratt til Magnes oppgave om grindbygg fra Osterøy, og han har bidratt til min oppgave om tradisjonelle dragere. Vi samarbeidet tett i forarbeid, oppmålinger og dokumentasjon, skogsarbeid og handverksforsøk m.m. Kapittel 6.2 er skrevet i samarbeid med Magne Kleiveland.

2 Fagterminologi

Her følger ord og begreper vi har kommet over gjennom arbeid med studien og kammadrager. Det er også noen korte forklaringer om bruken og betydningen av disse uttrykkene, samt hvordan de er brukt i denne studien.

Drager: En drager er en del av en bærende konstruksjon, og bærer f.eks. gulvbjelker, takåser, lembu m.m. Ofte er en drager langsgående i bygget og er understøttet av søyler eller i vegg (SNL, 2019)

Bjelke: Ligger gjerne krysslågt over en drager, og/eller opptrer sammen med flere bjelker i et bjelkelag (Frøstrup, 2004)

Kammadrager: Viser seg å være den mest brukte benevnelsen av denne type drager i handvertermiljøet.

Fortanning/fortannet drager: Annen benevnelse som kan brukes om kammadrager.

Joggled beam: Engelsk benevnelse som brukes på kammadrager.

Composite beam: Begrepet som ser ut til å være det mest brukt internasjonalt, som omfavner både kammadrager og fordybla drager. Ordet “composite” betyr at noe er sammensatt av flere komponenter, og «beam» betyr drager.

Kam: I denne teksten brukes ordet «kam» om en del/parti av drageren. Kammen skal motstå glidekreftene i drageren. Om det er en sammenheng med ordet kamp (to motstridende parter), kan vi bare spekulere i.

Kamlengde: Lengdemål vannrett fra kam til kam. Målt fra snitt til snitt i sammenføyningen mellom overstykke(r) og understykke.

Kamhøyde: Høyde målt på kammens loddrette snitt.

Dybel: Løs kile, lekt eller bordbit stående inn mellom lamellene på tvers av drageren, som tar opp glidekreftene. Dyblene er ofte av hardved (Nielsen, 1944).

Fordybling: Brukes i litteraturen og i håndvertermiljøet om dragere konstruert løse dybler som tjener samme formål som kammene gjør i kammadrageren: Å stå mot/fange opp glidekreftene mellom dragerens 2 (eller flere) lameller eller konstruksjonsdeler (Nielsen, 1944).

Løs tanning: Faguttrykk benyttet av tømrerne hos Rennebu-bjelken. Betyr det samme som fordybling, altså løse dybler.

Overstykke: Dette henviser til øvre trestykke/lamell i en kammadrager. Det kan være flere overstykker i én drager. Overstykket er i mange tilfeller delt på midten, slik at drageren typisk består av 3 deler, et understykke og 2 overstykker.

Understykke: Henviser til nedre trestykke/lamell. Som oftest et helt trestykke.

Møne: Brukes i denne teksten om de to midterste kammenes møtepunkt som danner et møne sett fra siden.

Nedbøy: Et mål fra en horisontal linje som angir dragerens nedbøy.

Pilhøyde: Det vertikale målet fra en horisontal linje og opp til dragerens største bøyning.

Målet angir dragerens oppbøyning. (Store norske leksikon, 2019)

Spennvidde: Lengde fra opplagringspunkt til opplagringspunkt; lysåpning.

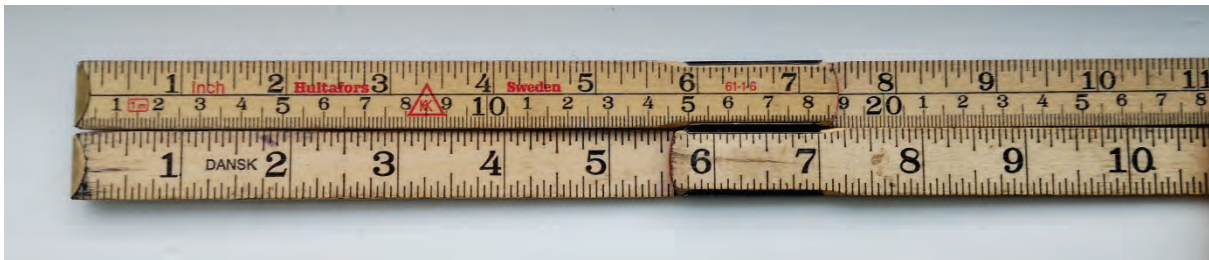
Oppspenning: Målt pilhøyde drageren har i bygget når den har vanlig last.

Forspenning: Når en drager er bøyd/spent opp før den felles sammen, forspennes den. Av Theodor Broch benevnt med “spænding” fra “horisontal-linjen” (Broch, 1848)

Boltesystem: Hvordan mønsteret i sammenboltingen av lamellene er lagt opp.

Bolt/bolting/boltemønster: Loddrett sammenholding av overstykke(r) mot understykke, som regel med ordinær gjenget bolt med mutter.

2.1 Måleenheter



Figur 1: Inch, centimeter og dansk/norsk tomme. Foto PSP

Norsk tomme: 2,614 centimeter fra 1875 og fremover (Salmonsens, 1915)

Alen: 24 norske tommes, som svarte til 62,74 cm fra året 1875 og fremover (Holtebekk, 2019)

Engelsk tomme/inch: 2,54 centimeter. (Holtebekk, 2019)

I denne oppgaven brukes flere måleenheter. Det kommer av at vi undersøker konstruksjoner som har vært dimensjonert etter forskjellige måleenheter. Årsaken til de forskjellige måleenhetene kan ha oppstått på grunn av den aktuelle tidsperioden bygget ble oppført og hva hver enkelt tømrer hadde i sin verktøykasse.

I måleskjemaet var det viktig å holde seg til ett system, her valgte vi å bruke Det internasjonale system for enheter. SI er den internasjonale forkortelsen for Det internasjonale system for enheter (Système International d'Unités), et internasjonalt system for måling av fysiske størrelser. Systemet ble vedtatt av den 11. Generalkonferansen for mål og vekt (CGPM) i 1960 (Holtebekk, 2019).

Alle mål i måleskjemaet er tatt i millimeter hvor enkelte mål er omgjort til centimeter og meter for å forenkle tallene. En annen årsak til å bruke SI som målesystem er at vi i dag stort sett har verktøy som følger dette systemet.

Det er også praktisk for oss å bruke den dansk-norske tommen, som i denne oppgaven benevnes som «norsk tomme». Denne måleenheten finner vi stadig brukt i de aktuelle bygningene. Når SI-systemet ble innført i 1875 var en norsk tomme 2,614 centimeter. 24 norske tommes utgjør en alen på 62,74 centimeter. En alen deles i to fot a 12 tommes, og fire kvarter a 6 tommes. Det viser seg å stadig være variasjoner fra 1875-standarden, da tommen fra 1500 til 1900 tallet har variert med over ti millimeter. I tillegg kommer de lokale variasjonene, så jeg velger å forholde meg til 1875-varianten (Salmonsens, 1915).

Den tredje måleenheten vi kommer innom er inch. Det er en engelsk tomme på 2,54 centimeter (Holtebekk, 2019).

3 Kammadrageren i historien

Giunchi har beskrevet funn i Italia i bygninger fra 1300 tallet, allerede da var det raffinerte dragere i store bygg, så en kan tenke seg at metoden og teknologien har vært i bruk lengere tilbake i historien. De skriver detaljert om dragere fra områdene rundt Ferrara, Verona og Mantua. Her beskrives de i spennvidde på opptil 16 meter og finnes i private villaer, festningsbygg, offentlige bygg, kloster eller lignende. (Giunchi, et al., 2003)

Videre refererer franskmannen Ginuchi E til Villard de Honnecourts (1225-1250) grafiske fremstillinger av konstruksjoner og materialer som skal brukes over eksepsjonelt store spenn i



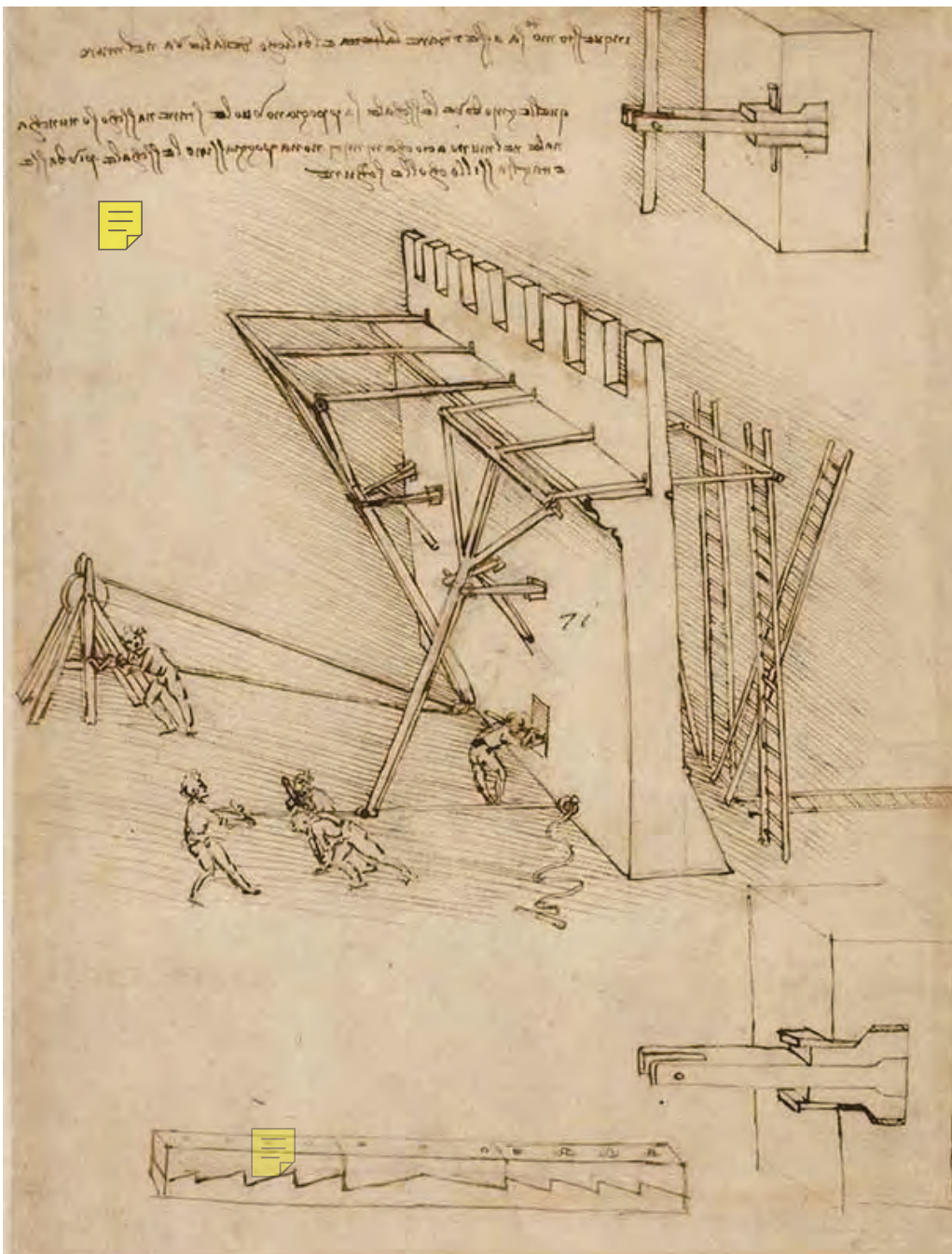
Fig. 11: Francesco di Giorgio Martini, various methods for increasing the length of horizontal beams (Martini [1470–1490] 1967, Tomo 1, p. 96).

Figur 2 Helside fra Simona Valerani's rapport (Valeriani, 2006)

den gotiske arkitekturen i perioden 1150 til 1550. Konseptet med laminerte dragere beskrives først av Leon Battista Alberti, i *De Re Aedificatoria* (ca midt 1400-tall) uten at det brukes spesifikk terminologi for å beskrive de mekaniske egenskapene for en laminert bjelke som skal bære over store spenn.

Den første skisserte 'typiske' kammadrageren finnes tegnet i marginen (fig 2 og 4) i arkitekten Francesco di Giorgio Martini's (1439-1501) manuskripter (Valeriani, 2006). Leonardo da Vinci (1452-1519) har ved flere anledninger tegnet lignende konstruksjon i *Codex Atlanticus* (fig 3) som er en samling av hans mesterverk fra perioden 1478 til 1519

(Vinci, 2019).

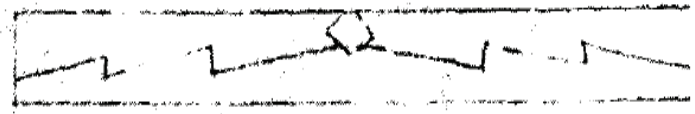


Figur 3 fra da Vinci's skisse av festningsverk, *codex Atlanticus* (Vinci, 2019)

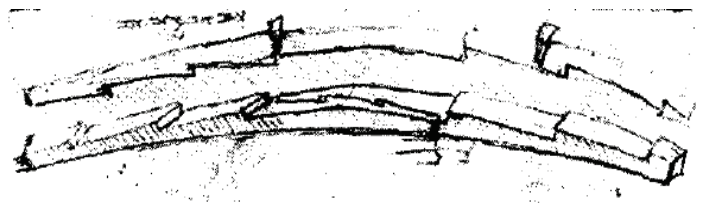
Da Vinci's skisse i figur 5 kan tyde på at det har vært eksperimentert med skjøtt understykke også, med en 'dobbeltannet skrå hakeskjøt med kiler' for å kunne benytte seg av kortere emner også til understykket (Vinci, 2019).

De italienske og franske dragerne kan ha hatt en utvikling via tyske handverkere og kommet til Norge sammen den europeiske stilhistoriens utbredelse på 15- og 1600 tallets renessanse.

Det har vært utfordrende å finne historiske materiale om kammadragerens utbredelse i Norge. Gjennom denne studien har vi dokumentert norske dragere fra seint 1600 tall til 1900 tall. Og kammadrageren produseres fremdeles i dag ved produsenten Rennebu Bjelken (Samtale 15.mars 2019).



Figur 4 Di Giorgio's skisse i marg. (Giunchi, et al., 2003)



Figur 5 Ibidem f.91v (Vinci, 2019)

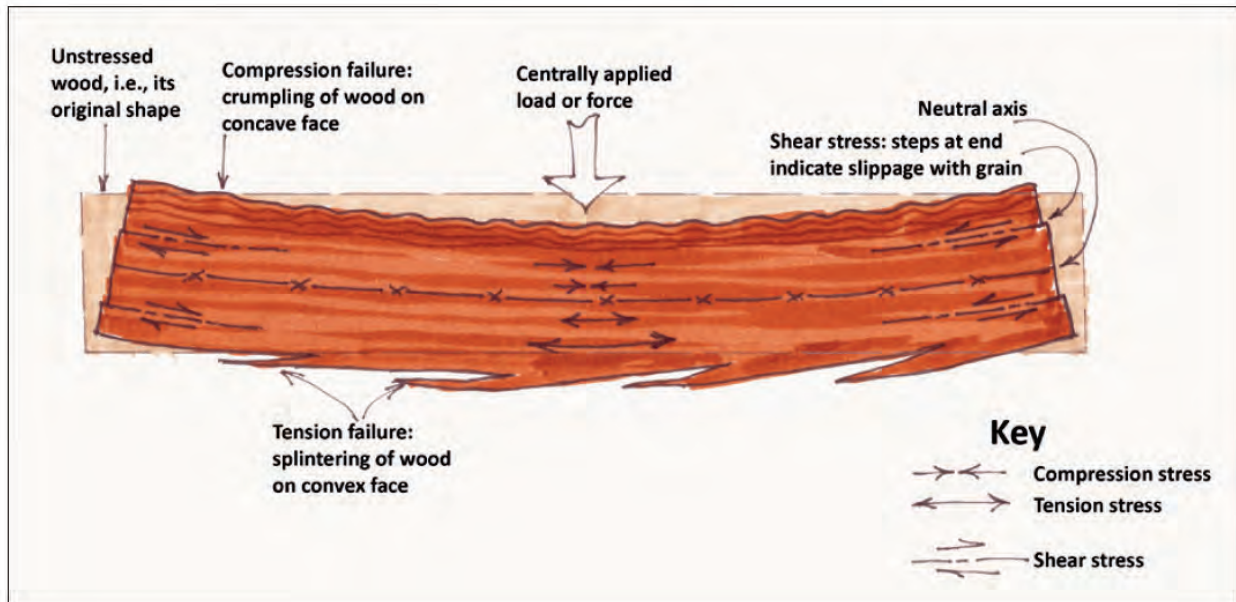
3.1 Område

Det er dokumenterte funn av kammadrageren i Italia, Frankrike, Tyskland og her i Norge (Giunchi, et al., 2003) (Valeriani, 2006) (Badalini & Dandria, 2009) (Rug, et al., 2012; Godal, et al., 2009). Vi kan se for oss at den har vært utbredt i hele Europa. Allikevel kan det være noen avgrensninger, da jeg ikke har funnet dragere av denne typen i Sverige, Finland og Danmark. Det håper jeg betyr at en bare må lete grundigere. Her til lands ser det ut til å avgrense seg geografisk, da jeg ikke har noen dokumenterte funn fra Trøndelag og videre nordover i landet. Utformingen og bruksområdet gjør at det kan være bortgjemte dragere i gulv og takkonstruksjoner, kledd inn med panel eller skjult på loft. Disse kammadragerne henger der og venter på å bli oppdaget.

4 Teori om dragere

4.1 Funksjon i dragere

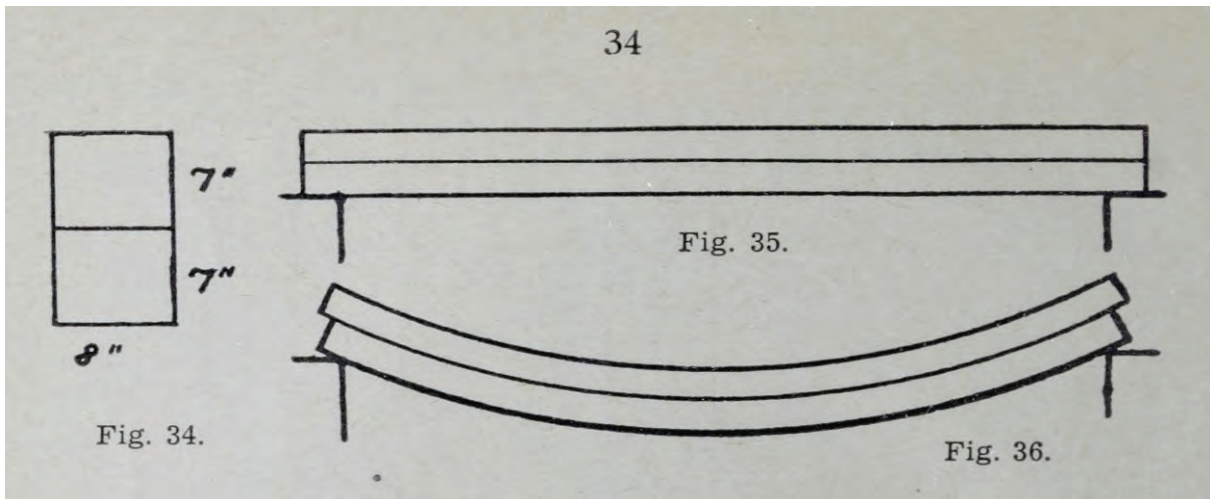
Richard Jones forklarer i boken *Cut and Dried* (2018) hvordan en drager som utsettes for last deformeres og hva som skjer i trevirket:



Figur 6 Illustrasjon av kreftene (Jones, 2018)

Når en drager blir utsatt for last vil trykk-kreftene føre til krymping av den øvre siden slik at den blir konkav. Samtidig vil den nedre siden bli konveks og få splintring på grunn av strekk-krefter. Når drageren bøyes slik oppstår det horisontale glidekreft som gir trapping i endene fordi fibrene glir langs vedretningen. De største glidekreftene oppstår ved endene på drageren og avtar mot senter av drageren og til ingenting langs den nøytrale aksens i midten. Jones beskriver glidekreftene og trappingen i endene som det samme som skjer om du ruller sammen ett magasin, bladene vil forflytte seg i likhet med trefibrene i en drager (Jones, 2018).

Ved å legge tre dragere oppå hverandre vil bæreevnen bli om lag tre ganger større. Legges disse dragerne uten forbindelse vil spenningsfordelingen bli slik at hver enkelt bjelke i drageren blir konkav i toppen og konveks i bunnen (fig 7). Kammene i en kammadrager har til hensikt å motstå disse glidekreftene. Ved å forhindre glidekreftene i den sammensatte drager økes bæreevnen yttligere tre ganger ($3 \times 3 = 9$) og drageren har en bæreevne som 9 sammensatte bjelker (Nielsen, 1944).



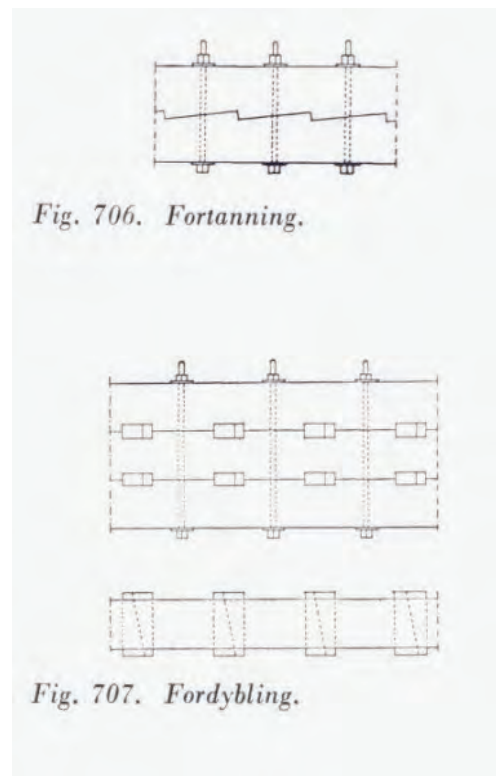
Figur 7 "Av skissen på figur 36 ser vi lett at glidningen blir 0 på midten, men øker utover mot endene, der glidningen er størst (Nielsen 1953)

4.2 Ulike typer laminerte dragere

Kammadrageren er helt klart forgjengeren til limtre drageren som vi kjenner i dag, som tar opp glidekreftene ved hjelp av limte flater.

Kammadrageren/en fortannet drager har en nært beslektet variant, den fordybla drageren. Prinsippene er like, utførelsen er ulik. En oppnår i hovedsak det samme, men det er andre faktorer en må ta hensyn til ved en fordyblet drager. En setter inn flere (gjerne kileformede) dybler av hardved, som skal ta opp glidekreftene. Orienteringen av dyblene fører til en mekanisk utpressing/separering av de to elementene som skal holdes sammen. Dette må håndteres med økt sammenholdingskraft ved hjelp av for eksempel økt antall og tettere bolting. Dyblene kan være kileformet, som nederst i figur 8.

En klar fordel med fordyblet bjelke er at kravet til nøyaktighet i fellingene ikke trenger å være så sirlig som i en kammadrager (Nielsen, 1944). Dette kommer vi tilbake til, når det gjelder kammadrageren på Solberg gård. En annen fordel med fordybblingen er at en ikke mister høyde på dragerene som felles sammen. Om to dragere på 5 tommer skal felles



Figur 8 Fortanning og Fordybbling (Nielsen, 1954)

sammen til en kammadrager, med 1 toms kamhøyde, mister en 2 tommer og drageren blir samlet sett 8 tommer. Med en fordyblet drager kan en felle inn dybler skrått på 1 tomme, som på figur 9, eller rektangulære på 2 tommer og en har allikevel ikke mistet totalhøyde på drageren, en har fremdeles en



Figur 9 Detalj av skråstilt dybel, Ørens bakeri, foto PSP

10 toms høy drager. Nå ser det ut til at de fleste kammadragerne vi har dokumentert utnytter mer av vannkanten på tømmeret enn det vi ser i de fordyblede dragerne. Det kan hende at dette allikevel ikke er et godt poeng om en selv følger tømmeret fra skogen til bygget. Med sagd virke vil dette kunne utgjøre en større faktor.



Figur 10 Knusning av ved, fordybling, Ørens bakeri. Foto PSP



Figur 11 Fordyblet samhald i taket på Dampsaga, Steinkjær. Det er brukt skrå bjørkekiler. foto PSP

4.3 Statisk ubestemte konstruksjoner

«I og med at vi bare har tre uavhengige likevektslikninger, kan vi bare bestemme tre ukjente størrelser på en konstruksjon. Vi sier at konstruksjonen er statisk bestemt hvis den er opplagret på en slik måte at alle ukjente størrelser lar seg bestemme vha likevektslikningene» (meccanica.no, 2019). En statisk *bestemt* konstruksjon kan være en pyramide, satt sammen av triangler, den vil danne fire stive skiver i en og samme konstruksjon.

«Hvis antall ukjente størrelser er større enn antallet tilgjengelige likevektslikninger, sier vi at konstruksjonen er statisk ubestemt. For å løse de statisk ubestemte problemene, må vi supplere likevektslikningene med tilleggsbetingelser hvor vi tar hensyn til deformasjoner» (meccanica.no, 2019).

Med utgangspunkt i sitatet ovenfor vil jeg selv prøve å forklare hvordan dette er relevant for denne oppgaven: En statisk ubestemt konstruksjon består gjerne av flere sammensatte komponenter, der komponentene i seg selv heller ikke er statiske. De tradisjonelle konstruksjonene vi har sett på i denne oppgaven er en del av et statisk ubestemt system. Det er ingen som vet helt nøyaktig hva som foregår i slike konstruksjoner til enhver tid, eller kreftene som oppstår internt i en av komponentene, i dette tilfellet en kammadrager. Når konstruksjonen utsettes for krefter oppstår det bevegelser i de individuelle komponentene i drageren, i tømmeret, boltene, mutterne, skivene og hele den omkringliggende konstruksjonen. Den ene bygningsdelen påvirker de andre, laster forflyttes, det oppstår nye last-veier etter hvert som konstruksjonen utsettes for den dynamiske lasten eller andre ytre faktorer som vind, fukt, temperatur m.m. Kreftene vil forplanter seg videre og påvirke hverandre. Det er viktig å være bevisst på at en stort sett har å gjøre med statisk ubestemte systemer når en har med tradisjonelle konstruksjoner å gjøre.

Det er altså svært vanskelig å forstå hvilke laster som er aktuelle til enhver tid. Å gjøre detaljerte beregninger av drageren eller konstruksjonen på dette tidspunktet har dermed begrenset verdi.

5 Problemstilling

5.1 Problemstilling

Hvilken funksjon, utforming og kapasitet har norske kammadragerer?

5.1.1 Problemstillingen leder frem til 5 forskningsspørsmål:

- Hvilke bruksområder og funksjon hadde en tradisjonell kammadrager?
- Lages kammadragerer fremdeles i dag, og til hvilke formål?
- Arbeidsprosess: Er det mulig å forstå produksjonsmetode ut ifra de forskjellige tradisjonelle dragerne?
- Dimensjonering og utforming av kammer: Er dette basert på forholdstall, brøker eller annet?
- Hvilken kapasitet har kammadrageren?

5.2 Svakheter ved studien

I studien fikk jeg ikke innhentet de nødvendige oppmålinger av kammadragerer til å kunne trekke sikre konklusjoner på grunnlag av empiri. Siden flere av de oppmålte kammadragerne opptrer i ulike konstruksjonsmessige kontekster, forsterkes denne svakheten ved studien.

Det er en svakhet ved studien at det ikke ble gjennomført testing av kammadragerer i 1:1 størrelse, som først tenkt. Et større handverksforsøk til testing av 1:1 kammadragerer var tiden til disposisjon begrenset, vi fikk gjort mindre forsøk med nedskalerte modeller. Med ulike handverksforsøk ville studien kunne gitt flere resultater om hvordan kammadrageren fremstilles, samt hva det gjelder slik den kan ha blitt fremstilt historisk.

5.3 Kunnskapsbehov

Svært mange av de jeg har vært i kontakt med gjennom studien viser stor interesse for kammadragerer og andre typer laminerte dragerer. Det er derimot kun en håndfull personer som kjenner til kammadragerens funksjon og utforming spesifikt. Videre har det vært utfordrende å finne forklarende litteratur om kammadrageren i Norge og de nordiske land.

Det viser seg å være et behov for økt kunnskap om tradisjonshandverk innenfor kammadragerer. For å videreformidle kunnskap om kammadragerer er implementeringen av

teori og forskning på feltet viktig. Å kunne ta denne kunnskapen inn i pensum, krever dermed nærmere kjennskap til hvordan konstruksjonsprinsippet fungerer og flere publikasjoner.

Kammadrageren har en utforming som på en svært pedagogisk og intuitiv måte illustrerer hvordan kraftspillet i en lamelldrager foregår. I konstruksjonslære snakker vi om trykk og strekk. Utformingen av drageren gir visuelle hint om møtepunktene som tar opp kreftene ved trykk og strekk. Å forstå kammadrageren viser seg enklere ved å produsere en modell, dette er ikke en stor investering. Den kan være relativt grei å produsere med få emner, gjerne bare to, f.eks. i en nedskalert versjon. Dermed er dette konstruksjonsprinsippet også et flott potensial på flere utdanningsnivåer, fra grunnkurset i tømmerutdanninga til universitetsnivå.

5.4 Forskning på kammadrager/pågående undersøkelser

Jeg kjenner per i dag ikke til at det foregår noen aktiv forskning på området. Det er derimot en del forskning angående fordyblede bjelker. Den tyske studien undersøker laste-egenskapene for kammadragerer, og rapporten deres viser til tidligere forskning på praktiske veiledere for dimensjonering av kammadragerer (Rug, et al., 2012). Videre er derimot kjent for meg at firmaet Rennebu-bjelken jobber med å utvide sine bruksområder for dragerne de produserer. Dette bør kunne sees på som industriell forskning på området.

6 Metode

6.1 Material og empirisk fundament

Et viktig element i metoden var bygging av en modell. Modellen ble bygd i skala 1:20 og denne skulle vise seg å være særdeles nyttig for å diskutere, formidle og eksperimentere rundt temaet. (fig 12) Størrelsen på modellen ble bestemt å være liten slik at den enkelt kunne tas med i sekken. Den ble brukt i diskusjoner, drøfting og visualisering. De fleste jeg møtte hadde ikke sett maken til konstruksjon.



Figur 12 Modell i skala 1:20, foto PSP

Tidlig i prosessen ble det gjennomført enkle håndverksforsøk for å visualisere hvordan kreftene forplanter seg i over- og understykke. Her ble drageren forenklet til å ha færre kammer, samt at vi lagde nedskalerte prøvestykker. Disse håndverksforsøkene var meget nyttige for å forstå hva som foregår i kammadrageren når den lastes og når den svikter.

For å finne eksempler på dragere som kunne dokumenteres startet jeg en tips-ordning på flere plattformer, slik kunne vi også å danne oss et bilde av omfanget av kjente dragere. Flere medstudenter og plattformene til sammen bidro med solide tips og enkelte sikre funn. En reiserute ble etter hvert planlagt ut ifra tipsene som kom inn. Ruten fulgte byggene som skulle inneholde interessante dragere rundt om i landet. I grove trekk fra Troms til Bergen, Kongsberg, Drammen, Oslo, Enebakk, Elverum og nordover mot Trøndelag. For å begrense antall bomturer ble huseiere, lokale handverkere, kirketjenere og andre instanser kontaktet for å bekrefte tips og forklare nøyaktig beliggenhet. Underveis på denne «dokumentasjons-turnéen» ble de interesserte oppdatert, som igjen førte til at det dukket opp flere tips underveis. Av praktiske årsaker ble det ikke mulig å følge opp alle tipsene, da det måtte gjøres knallharde prioriteringer for å rekke over det vi mente kunne være et representativt utvalg. På turneen tok vi 50-100 vitale mål per drager i 10 bygg. Dette inkluderer ikke bomturer eller de

ukomplette funnene. Videre ble det tatt mål til skisser av situasjonsplan og sammenstøtende konstruksjoner.

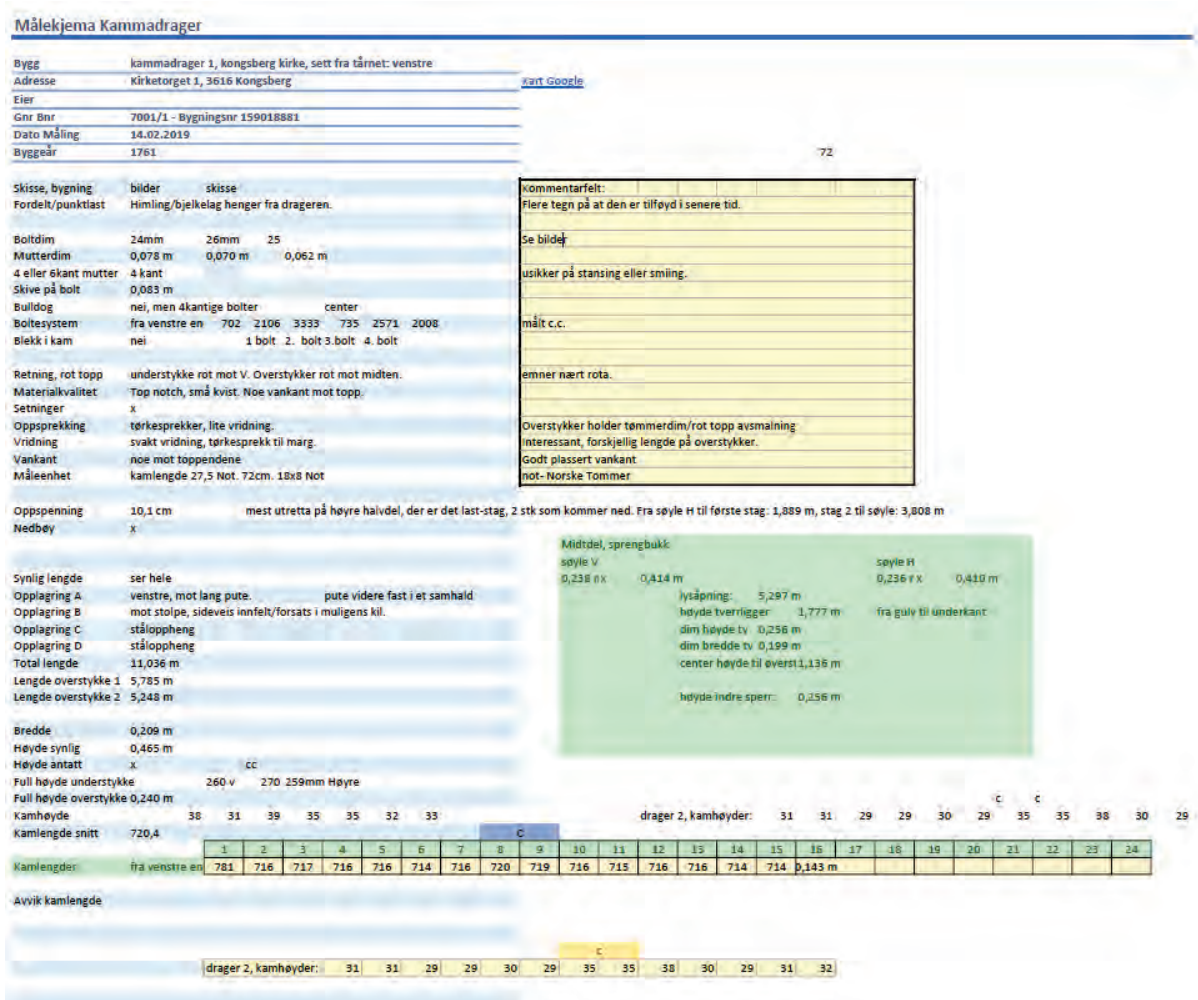
6.2 «Det store laboratoriet»:

I samråd med NTNU og veileder valgte jeg og Magne Kleiveland som utgangspunkt å sammenstille resultat fra oppmålinger i de gamle konstruksjonene med resultat man ville fått om man hadde simulert testing i et moderne laboratorium. Gjennom forskningen i denne oppgaven er det i samarbeid med flere fagfolk blitt utarbeidet et begrep vi kaller «Det store laboratoriet». Begrepet omfavner bygningsmassen som eksisterer i Norge. I dette begrepet ligger det at konstruksjonene vi tok målinger av har vært utprøvd i virkeligheten, over en lang tidsperiode. Byggene har blitt utsatt for påkjenningene de var ment å stå imot. Vi var ute etter resultat som knytter seg til påkjenningene fra vanlig og hengende last, både jevnt fordelt last og punktlast, på kammadragerne. I tillegg gir målingene og registreringene informasjon om hvordan råtesopp, skadedyr, manglende vedlikehold og forskjellig bruk påvirker konstruksjonen. Dette er informasjon vi mener «Det store laboratoriet» kan gi oss.

Å bruke «Det store laboratoriet» var relevant også for min medstudent Magne Kleiveland, da han i samme periode gjorde liknende undersøkelser i grindbygg langs Vestlandet, mer spesifikt Osterøy. Vi har begge en stor nysgjerrighet og lidenskap for alskens konstruksjoner og konstruktive diskusjoner, dermed ble vi tidlig enig om å samarbeide om disse to oppgavene da det er flere fellestrekk, ikke direkte konstruksjonsmessig, men i prinsipp og metode. Rent praktisk er det fordelaktig å være to under oppmåling og arbeidet med dokumentasjon mens det naturligvis bærer store frukter å kunne diskutere og dissekere informasjonen vi kommer over.

Samtlige av dragerne vi målte opp, har en alder på over 100 år. De to eldste kammadragerne står i Oslo Domkirke. Siden kirken er datert til 1697 og er 322 år gammel kan vi med høy sannsynlighet datere dem til samme årstall (Brunsvik, 2003). Den yngste drageren er dokumentert i en kjeller på Østerhaug gård i Heradsbygd, reist i år 1905. Det skiller seg 208 år mellom de to kammadragerne.

Vi gikk som nevnt først til stående bygg i «det store laboratoriet», gjorde undersøkelser og hentet inn mest mulig data, først og fremst i form av mål vi tok på plassen. Formålet med dette var å øke vår egen forståelse for konstruksjonen, avdekke variasjoner, se kraftspillet og handverket i kammadrageren. Tallmaterialet fra oppmålingene benyttet vi til å søke etter mønster og systemer i dimensjonering og prosjektering av de gamle byggene. På grunnlag av dette dokumentasjonsarbeidet tegnet jeg opp alle de oppmålte kammadragerne i felles målestokk, for å få en oversikt over de ulike bruksområdene og situasjonene de hadde vært benyttet i, samt for å kunne se de i en samlet oversikt. Funnene fra det store laboratoriet er undersøkelsens empiriske materiale.



Figur 13 Utdrag fra måleskjema, eier PSP

6.3 Registrering av data

Vi fokuserte på å få gjort oppmålingene så effektiv og nøyaktig som mulig, formålet var å få et stort materiale av målinger og annen registrering av dragere. Vi tok også systematiske bildeserier av kammadragerne for å kunne referere tilbake.



Figur 14 Nyprodusert digital klave, Klavikus Maximalis, Foto Magne Kleiveland

For å få tatt mange målinger på kort tid, måtte vi finne en måte å effektivisere selve oppmålings-arbeidet på. Vi kom fram til en løsning der vi benyttet en digital Bosch avstandsmåler (Bosch Professional GLM 50C), som vi fastmonterte på en tømmerklave. Avstandsmåleren sendte målene via Bluetooth direkte til et regneark på en bærbar pc. Også gradtall/vinkler kunne avleses på denne måten. Systemet effektiviserte oppmålingene betraktelig, noe som gjorde at vi kunne innhente mer data fra «det store laboratoriet», innenfor den tidsramma vi hadde til rådighet.

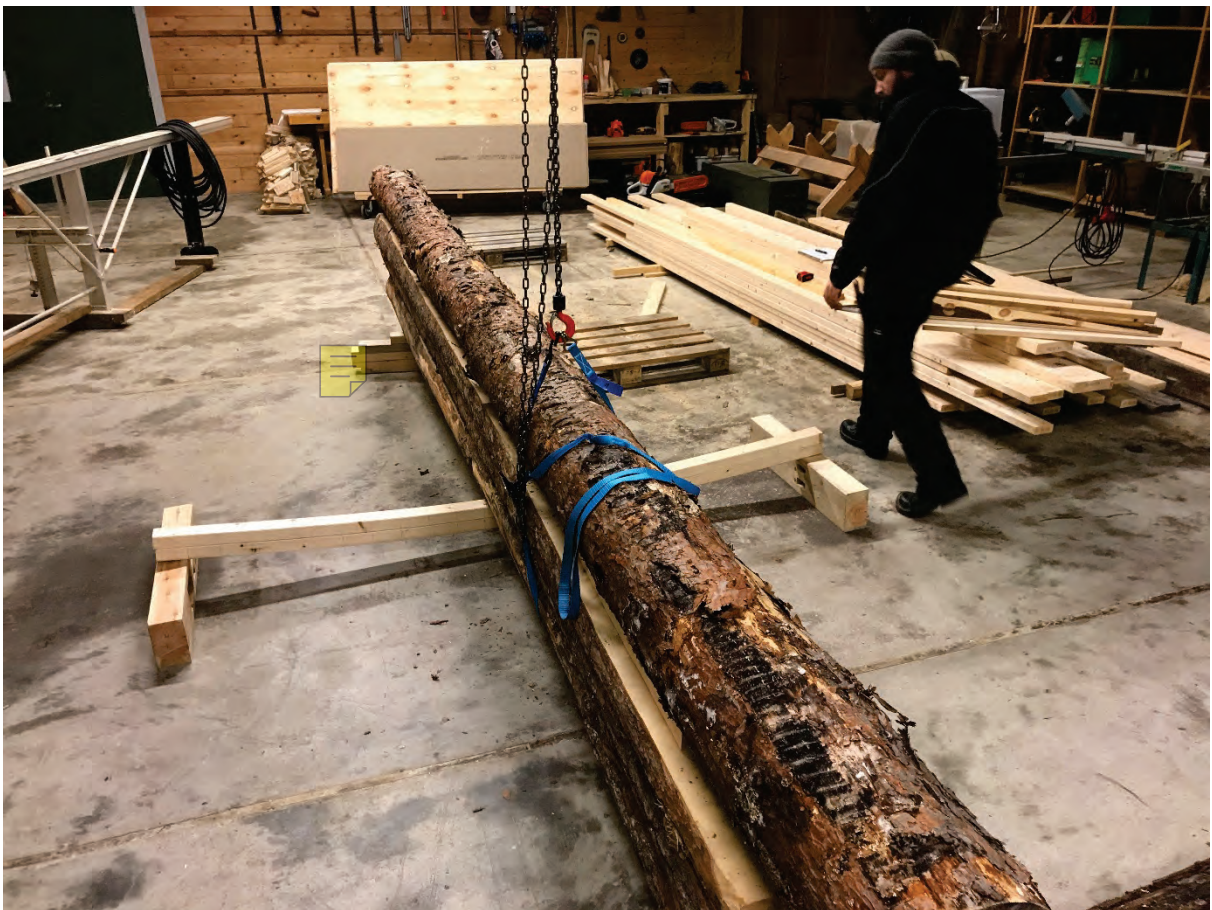
Alle målene og observasjonene ble ført inn i skjemaet, (fig 13) og skjemaet ble også et viktig verktøy for å holde rede på alle kontrollpunktene vi ville innom, slik at ikke noe ble glemt.

Nøyaktigheten på måleutstyret vi benyttet, lå innenfor plus/minus 1,5 millimeter pr meter ved målinger av lengder/dimensjoner, og innenfor 0,2 grader på vinkelmål.

6.4 Om vurdering av materialkvalitet

På de enkelte dragerne er det valgt å gjøre en enkel og subjektiv virkes-vurdering basert på egne erfaringer. Dette kunne med fordel vært gjort mer utfyllende, da det er en enorm variasjon av alle faktorer i virket som er brukt, både i hvert enkelt bygg, samt variasjoner blant alle byggene som er undersøkt. En mer omfattende undersøkelse av materialkvalitet var det ikke satt av tidsbruk til. Det er derfor gjort en dokumentasjon av det som utmerker seg eller er spesielt verdt å påpeke. Det kan gjelde observasjoner som mengde av vankant, kvistsetting og størrelse, tetthet/vekstmønster, tørkesprekk, plassering av sprekk, rot-topp orientering, avstand til rot/topp og høyre/venstrevridning.

6.5 Visualisering av kreftene i drageren



Figur 15 Tømmerstokkene senket ned på drageren. Foto Magne Kleiveland

Vi ønsket med noen enkle handtverksforsøk å visualisere hvordan formen av en drager endrer seg og hvor tydelig det kommer frem ved nedbøyning.

Vi la 2x3 toms på flasken, 2,5m lengde – to i høyden. Som i en kammadrager, men uten kammer. Vi belastet det med tre sideskårne furustokker, og en rundstokk, samlet beregnet til 1.1 m², altså ca 600 kg. Se figur 15.

Tidlig kunne vi med det blotte øye se glidningen og kraftspillet i lengderetningen, som er essensielt for å forstå dragernes virkemåte. Se fig 16. Det er dette en kammadrager mekanisk skal forhindre med sine kammer. Videre gjorde vi samme forsøk med gradvis flere kammer



Figur 16 Drageren er merket loddrett hver 10 cm, vi ser 6mm glidning i enden. Foto Magne Kleiveland

på prøvestykkene. I figur 17 ser vi en drager med bare én kam til hver side, med cirka 3mm forspenning. Da blir det cirka 9 millimeter pilhøyde fra arbeidsbenken.

Slik fortsatte vi med flere emner og belasta de sakte for hver gang, mens vi prøvde å få selve bruddet fanget på film.

Å fange det på film skulle vise seg å være utfordrende, men som figur 18 viser, var det tydelige brudd fra rota på kammene flere ganger ut mot siste kam (øverst i bildet).



Figur 17 Kammadrager med bare èn kam, foto PSP

Hele denne øvelsen med bøyning og knekking av dragere var svært nyttig for vår egen forståelse for dragerens virkemåte, og ble derfor utført før vi la ut på dokumenterings-turneen. Disse bildene, sammen med den lille 1:20 modellen av en kammadrager ble tatt fram for å diskutere løsningene i de forskjellige dragerne.

6.6 Avgrensning

Utvalget av dragere som er oppmålt og dokumentert er automatisk avgrensningen av materialet en kan prosessere. Innholdet begrenses til tilgangen på kammdragere. Liknende dragere tas ikke med, selv om teknologien kan samsvare. Jeg ville i hovedsak avgrense meg til dragere i norske tradisjonelle konstruksjoner. Målet måtte være å finne dragere fra tiden da det var vanlig å bruke drageren. Jeg kjenner til en handfull kammdragere produsert i moderne tid, men jeg ville finne opphavet og bakgrunnen til tradisjonen i Norge.

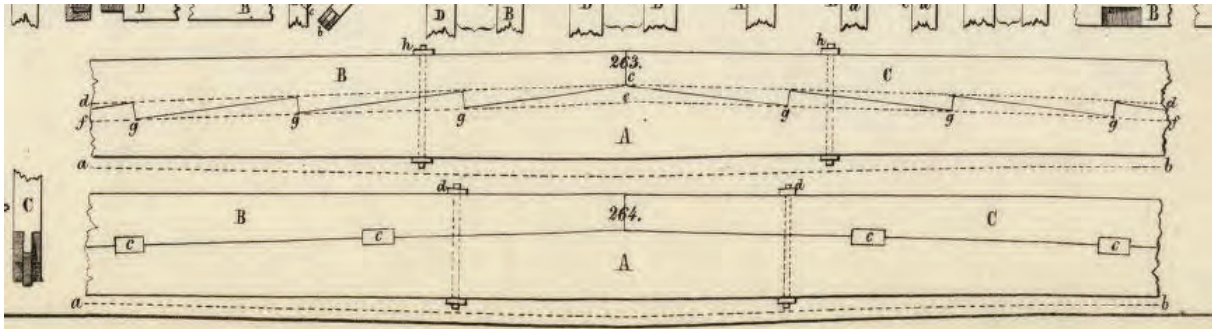


Figur 18 Brudd i kammadrager med 3 kammer hver vei. Foto PSP

7 Prosessbeskrivelse

Teodor Broch metode:

Jeg vil legge ved hele prosessbeskrivelsen fra Broch, for å vise hvordan jeg tolker hans forklaring av hvordan en kammadrager med delt overstykke blir til. I Lærebog i Bygningskunsten: nærmest bestemt for Den Militaire Høiskoles Elever: 1: Bygnings-Technologien skriver han utfyllende om formål, dimensjonering, montering og bolting.



Figur 19 Illustrasjon til Broch's tekst (Broch, 1848),

“§430. Sædvanlige Bjælker kunne i Regelen, ikke ved for stor Belastning, kun ligge fritt på 16 å 18 Fod.

Ved større Afstand mellom Understøttelserne eller ved stærk Belastning betjener man sig derfor, i det Tilfelde at Rummet under Bjælkerne maa være frit og altsaa ingen Dragere med Stændere kunne anbringes, av fortandede Dragere.

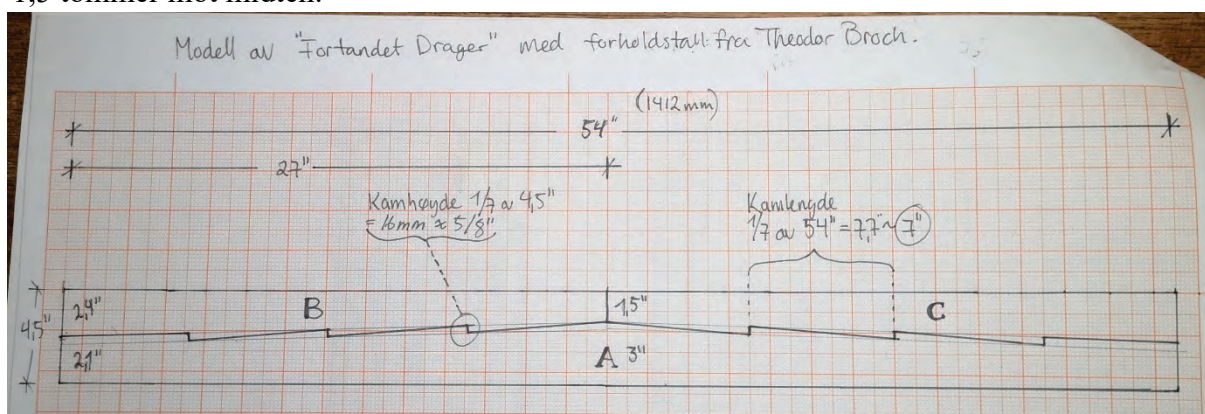
En fortandet Drager, Fig 263, bestaar sædvanlig af 3 Stykker, A, B og C, hvilke ere sammensatte med saugformige snit og forbudne med Jernbolte. Tegningen fremstiller kun den midterste Del av en saadan fortandet Bjælke, idet begge dens Ender er uteladte af Mangel paa Plads.

Til det underste Stykke A tages et kromvoxet (sprængt) Stykke, eller det bliver først ved Underlag i Midten og ved Belastning av Enderne krummet $1/60$ av dets Tykkelsen af en fortandet Bjælke er omtrent $1/12$ af Bjælkens hele fritliggende Længde; altsaa ved 24 Fods Længde omtrent 2 fod. Det underste Stykke A erholder deraf i Midten omtrent $2/3$, altsaa ved 24 Fods Længde 16". (02EE Alt+X) Imod begge Ender til behugges det skraat efter Linierne cd, saaledes at det ved Enderne kun har en Tykkelse af noget mindre end Halvdelen af den hele Tykkelse, altsaa omtrent 10" ved 24 Fods Længde. Begge de øvre Stykker B og C tages noget længere end den halve Længde af det underste Stykke, hvilket maa være saa langt, at det paa begge Ender endnu har 12 til 18 Tommer at ligge an paa. Disse Stykker maa ligeledes have en Tykkelse af omtrent $2/3$ af en fortandede Dragere hele tykkelse, altsaa i det her benyttede Tilfælde 16". Ved Enderne, som skulle støde sammen i Midten, aftages imidlertid saa meget at Tykkelsen der kun bliver omtrent $5/12$ af den hele, eller 10". Paa alle disse Stykker gjøres nu langs de skraat tilhuggede Sider et Snorslag i en Afstand af omtrent $1/12$ a $1/7$ af den hele Tykkelse (ved 24 Fods fritliggende Længde altsaa 2 a 3"), saaledes som ef paa det underste Stykke A, og paa dette blive

Tændernes Indsnit vinkelret opridsede. Afstanden mellem disse Indsnit bør omtrent være $1/7$ af den fritliggende Længde, altsaa 3 Fod ved 24 Fod.

Derefter kunne Tænderne utarbejdes efter Ridset. De øvrige Stykker erholde deres Indsnit efter den samme Form. De maa, hvor de i Midten støde sammen, være lidt længere, for at den tilbørlige Spænding kan opnaaes. For at lægge de øvre Stykker paa, nedtrykkes Enderne af det underste Stykke endnu mere ved Belastning, og det Hele forbindes derpaa ved Jernbolte h. Sædvanlig utfordres for hvert øvre Stykke to Bolte, en nær ved Midten, den anden i Nærheden af det underste Stykkes Ende" (Broch, 1848).

Jeg har gått igjennom teksten og i figur 20 skissert opp en drager basert på hans forholdstall. 54 tommer lang, for å ha en håndterlig modell å prøve teknikken på. Da blir den 4,5 tomme høy, med 7 toms kamlengde, $5/8$ tomme kamhøyde. Legg merke til at understykket A er 3 tommer høyt på midten, 2,1 tommer i enden. Overstykkene B og C blir 1,5 tommer mot midten.



Figur 20 Skisse av modell, fra forholdstall. skisse PSP

Det blir en kammadrager med delt overstykke, men jeg finner ikke et direkte samsvar med de dokumenterte dragerne, men det kan hende at jeg har tolket noe av dimensjoneringen i teksten feil.

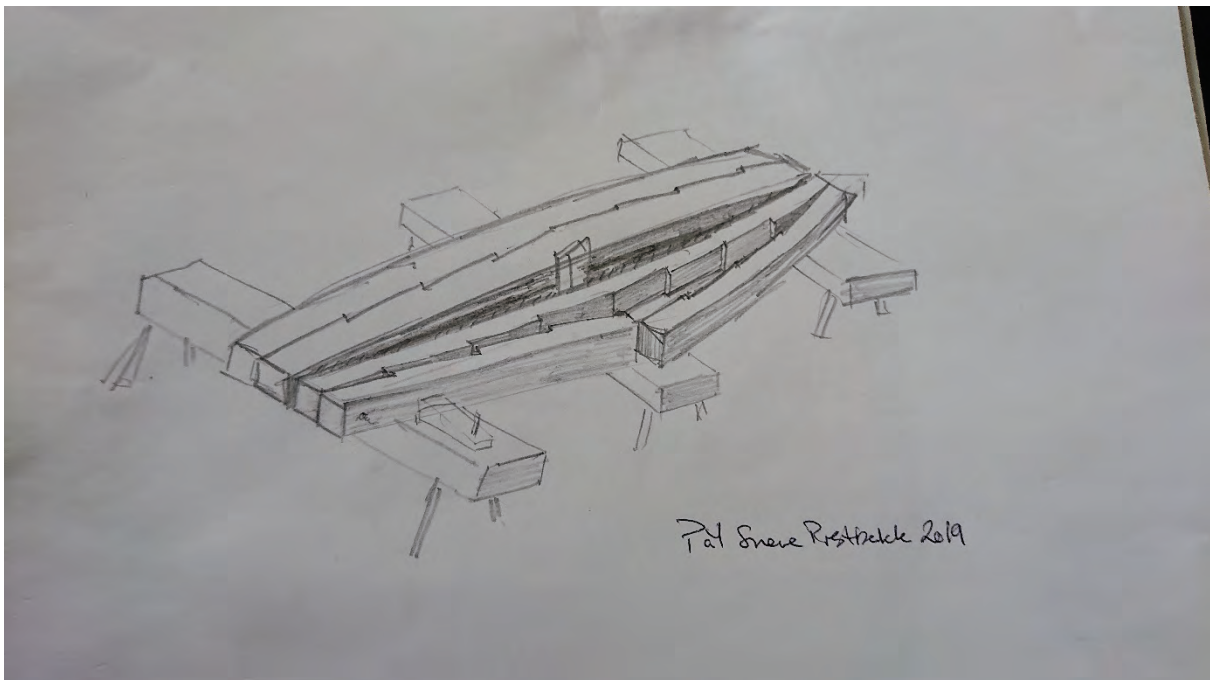
Det er svært interessant at han skriver at en kan bruke et emne til understykke som er '1/60 krumvøxet' (det vil si pilhøyden) eller spennes opp emnet ved å legge et underlag ved midten, for så å belaste endene til en har samme pilhøyde. Tykkelsen av kammadrageren anbefaler han bør være $1/12$ av dragerens lysåpning, så da blir en 6 meters drager en halv meter høy. Dragerne jeg har dokumentert har en lavere høyde i forhold til beskrivelsen til Broch.

Skissen i figur 21 viser tenkt arbeidsmåte, om en skal lage mer enn én drager. Drageren på Solberg gård er cirka 44 centimeter høy. Om den skulle vært $1/12$ av lengden på 6,5 meter, skulle den vært 10 centimeter høyere. Beregningene på drageren i Heradsbygd stemmer

forholdsvis bra i forhold til metoden til Broch. (Dragerne på Soberg Gård og Heradsbygd blir forklart nærmere i kapittel 8.)

Kamlengden anbefaler han å være $1/7$ av dragerens lysåpning, og kamhøyden bør være $1/7$ av dragerens høyde. Dette finner jeg ikke igjen i de dragerne vi dokumenterte. Metoden han beskriver for sammensetting av drager med todelt overstykke stemmer fint med teorien til Magne om meg, slik vi har sett for oss fremgangsmåte. -om en da allerede har krummingen ($1/60$ naturlig) så trenger en kanskje bare å sprengre fra i midten mellom de to understykkene (A) for å få montert B og C.

Broch's metode bør det gjøres et arbeidsforsøk på. Utfordringen tror jeg er selve overføringen av merking fra understykke til overstykkene, og ende opp med en forspent drager som er plan i overkant.

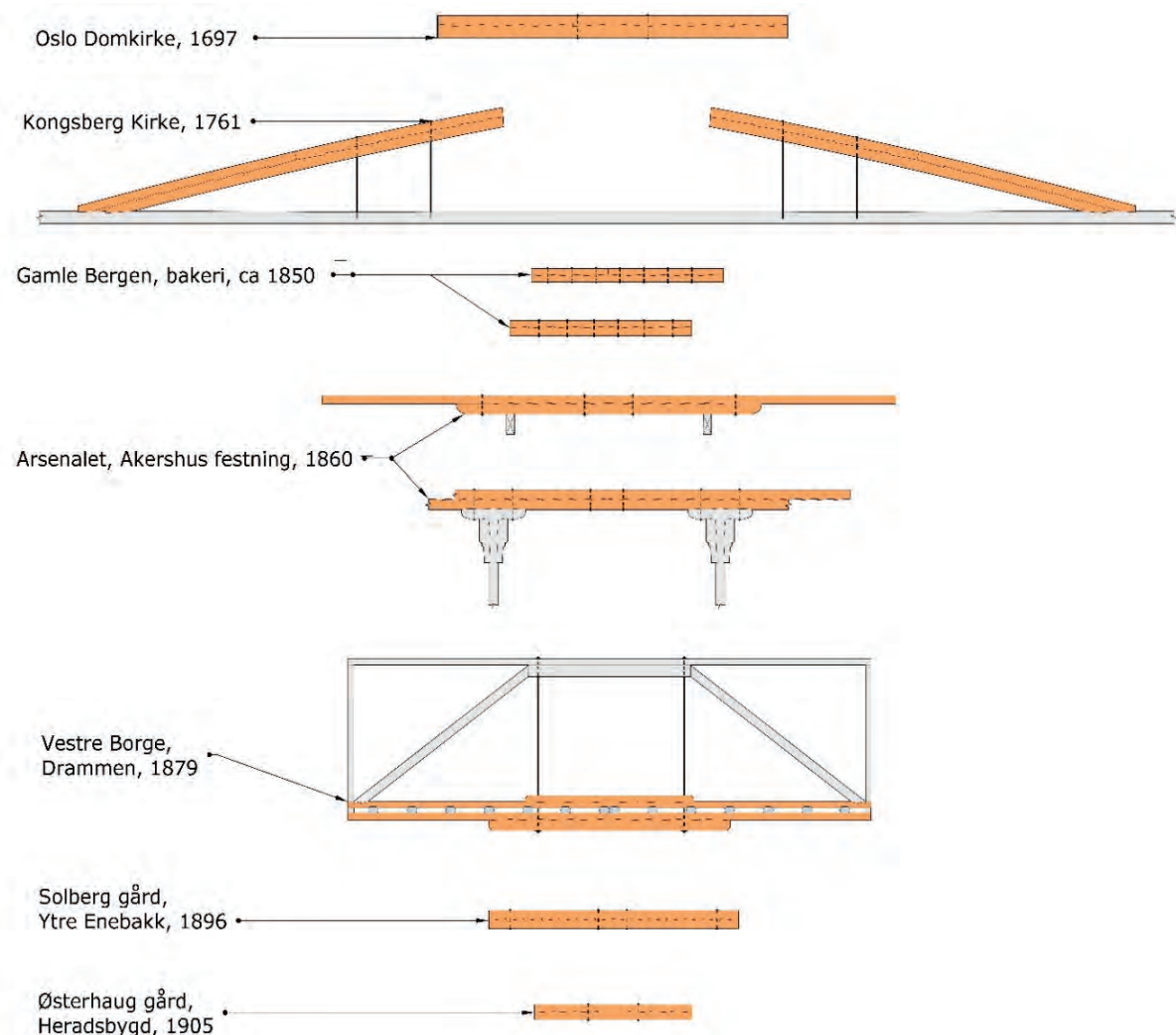


Figur 21 Skisse av forspenning og montering på bukk, PSP

8 Resultat

Under punkt 8.1 ser vi dragerne listet opp i kronologisk/historisk rekkefølge, og i lik målestokk. (fig 22) Rekkefølgen som kammadragerne videre i kapittel 8.2 kapittelet blir presentert i tar ikke utgangspunkt i forhold til alder eller geografisk plassering. Dragerne er delt inn i 4 kategorier, fra minst kompleksitet til dragere som står i et avansert konstruksjons-system. Årsaken til dette valget er at en påbygging av kunnskap og elementer fra hver drager kan gjøre det enklere å følge utviklingen og kompleksiteten av de dokumenterte dragerne. Det er 9 forskjellige dragere som er dokumentert i 7 forskjellige bygg.

8.1 Historisk tidslinje for kammadrager i Norge

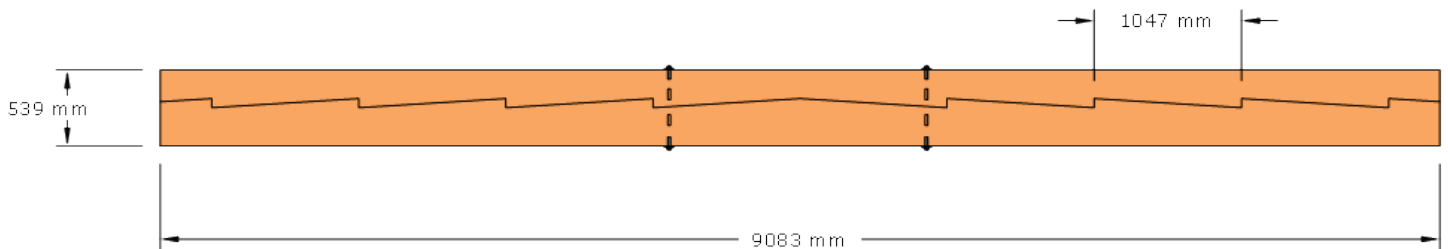


Figur 22 Tidslinje fra 1697 til 1905. Illustrasjon PSP

8.2 Kammadragere med helt overstykke

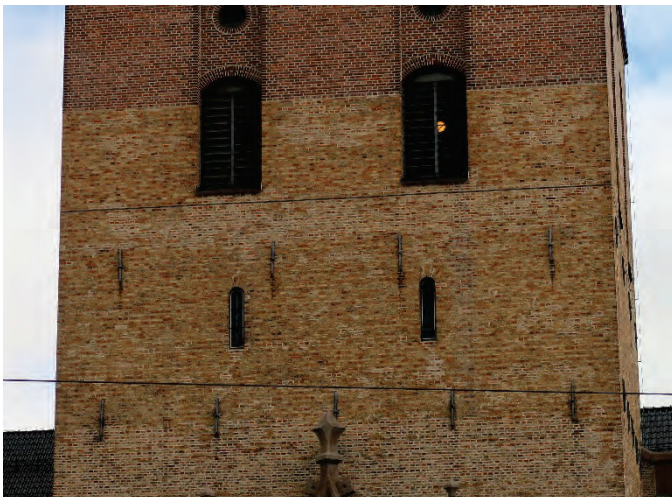
8.2.1 Oslo Domkirke

Kammadragerne i Oslo Domkirke er i mine undersøkelser den eldste blant de dokumenterte dragerne. Vi finner to dragere parallelt i tårnkonstruksjonen. Oslo Domkirke er reist i perioden 1694 til 1697, da med en noe lavere tårnkonstruksjon enn den vi ser i dag. Det er en



Figur 23 Synlig del av kammadrager Oslo Domkirke, illustrasjon PSP

tydelig forskjell i tegl-fasaden på tårnet, da det ble brukt en noe mørkere hollandsk teglstein ved forhøyningen til det nye uret og tårnet, rundt år 1850. Midt i figur 24 ser vi nærmere på fasaden, der kammadragerne er innmurt, med et jernstag fra innsiden, innmurt gjennom fasaden og låst med loddrett nål på utsiden, et bjelkeanker (fig 29). Dette



Figur 24 Midt i bildet ser vi nålene, Foto PSP



Figur 25 Oslo Domkirke, foto Pål Sneve Prestbakk

er selve innfestingen av drageren i tårnet, og bidrar samtidig til å stabilisere tårnets høye vegger. Denne nåla finner vi igjen på innsiden av muren, festet til drageren.

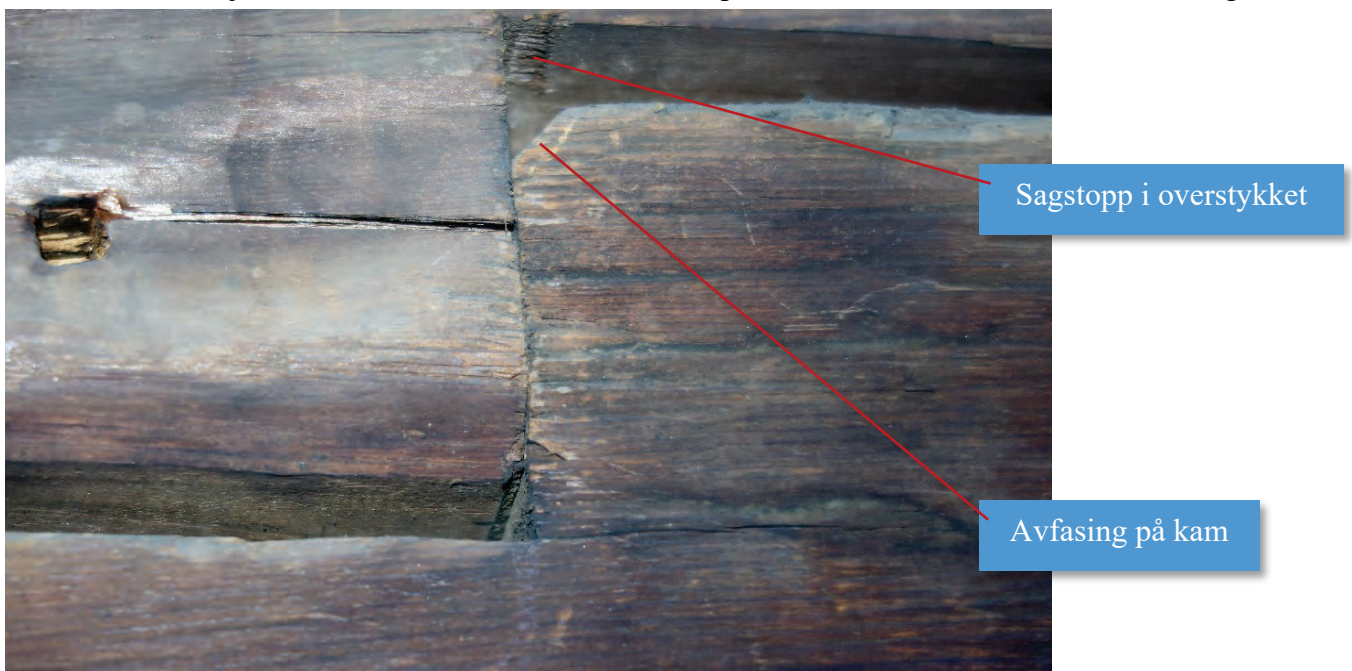
Jeg antar på grunnlag av dette, at dragerne er fra den opprinnelige tårnkonstruksjonen, og at de forble urørt under ombyggingen. Det er også spor etter tidligere fellinger både i overkant og underkant av drageren, som tyder på en endring i omkringliggende konstruksjon.



Figur 26 Ca 7 av 9 meters drager, Foto PSP

Utformingen av kammadrageren i Oslo Domkirke har en del unike særtrekk som skiller den fra de andre dokumenterte. Disse to dragerne, samt den ene i Heradsbygd er de eneste utført med helt overstykket (se Heradsbygd 8.2.2). Med en høyde på 54cm og bredde 30cm har den det største tverrsnittet. Lengden på kammene er cirka 105cm, 40 norske tommer. Kamhøyde er i snitt 65mm, altså 2,5 norske tommer. Dette gir drageren de lengste og høyeste kammene i denne undersøkelsen.

Videre er det interessante finesser i utformingen, som vi kan se nærmere på i figur 27. De fleste av kam-hjørnene er avfaset. Dette kan forenkle prosessen når en setter sammen over- og



Figur 27 Kamhøyden, med avfasede hjørner. Foto: PSP

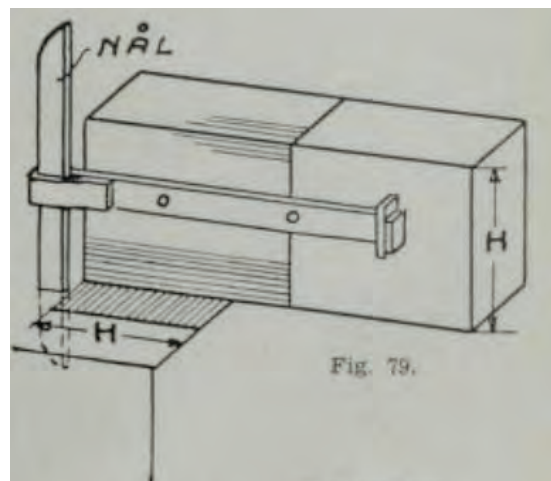
understykke. Samtidig så fører dette til at arealet med tilstøtende endeved blir mindre. En annen detalj som vises på enkelte av kammene, er sporet etter flere sagstopp ved siden av hverandre. Øverst i figur 27 ser en ett av disse, da det har vært sagt cirka 1 cm fra merkingen til den loddrette delen av kammen. Jeg undrer meg fremdeles over denne detaljen, så det kan være verdt å nevne for fremtidige diskusjoner.

Drageren er dimensjonert med øks, kammen er merket med riss og sagt ut, flata er høgd ut med øks. Dragere har i dag en nedbøyning på 2 centimeter Bredden på dragere er svært nøyaktig, men høyden varierer innenfor en tomme. Høyden kan altså komme direkte av tømmerdimensjon, da det er vankant mot alle hjørner, mest over og under, mindre mot



Figur 28 Verktøyspor etter merking med rissnål eller liknende. Foto PSP

kammene. Det er spesielt interessant at det fremdeles er så tydelige verktøyspor etter rissnål eller kniv som vist i figur 28. Overstykket har flere plasser kun den loddrette merkingen for plassering av kam, men understykket har to til fem riss fra hjørnet på kam. Dette kan tyde på at overstykket er merket av fra det ferdig tilhugde understykket. En bør uansett ta dette



Figur 29 Bjelkeanker (Nielsen, 1953)

med seg i videre diskusjoner om de forskjellige produksjonsmetodene.

De to dragerne i tårnkonstruksjonen fremstår som svært like, i dimensjon og nøyaktighet, mens merking og avfasing av hjørner er forskjellige.

I denne drageren er det brukt to bolter, en til hver side av midten på drageren. Disse ser imidlertid ut til å være av nyere dato, og kan ha vært tilført senere. Det er en fingjenget bolt med stanset mutter og skive (fig 30). Dette underbygger at boltene er av nyere dato, men den kan også være snakk om en utskifting av eldre eller originale bolter. Boltene er plassert som på illustrasjonen i figur 23. Drageren er gjort av furu.

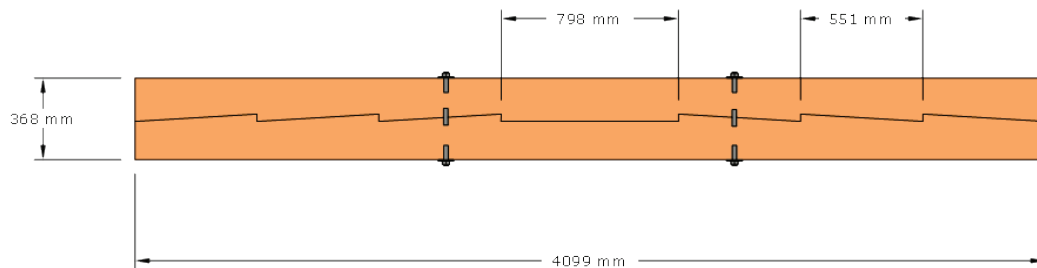


Figur 30 Bolt i drager, foto PSP

I etasjen over rommet med de to dragerne, finner en også loddrette søyler langs innsiden av muren. Disse er skjøtt og forsterket med ei kamming, men virkemåten og hensikten med disse bør nok undersøkes nærmere.

8.2.2 Heradsbygd, kjeller i villa

På Østerhaug gård i Heradsbygd, litt sør for Elverum, finner vi en enkelt drager. Dette er den yngste av de dokumenterte dragerne, samt den korteste. Villaen den står i er oppført i 1905. Drageren er altså over 200 år yngre enn den vi dokumenterte i Oslo Domkirke, og det andre



Figur 31 Drager på Østerhaug gård, illustrasjon PSP

eksempelet med helt overstykke. Drageren er den eneste gjenværende etter omfattende restaurering av villaen på grunn av råteskader. Kjelleretasjen hadde opprinnelig flere av disse kammadragerne som bæring for bjelkelag til gulv i 1.etg. De er i dag erstattet med limtredragere i samme dimensjon. Dette viser seg å være noe underdimensjonert, da det er stor nedbøy på flere av limtredragerne.



Figur 32 Villa på Østerhaug gård, Heradsbygd. foto PSP

Synlig lengde er omtrent 4,1 meter, og vi kan anta den ligger godt inn i den tykke muren ettersom det er påskrevet '5,1' meter på drageren. Tømmeret av furu ser ut til å ha vært skjært på sirkelsag, deretter håndhøvlet på sidene. Synlig høyde til himling er 34 centimeter, antatt 37 centimeter totalhøyde. Bredde er svært jevnt 14,7 centimeter. Det er 2 bolter symmetrisk fra midten, 131 centimeter mellom, eller 50 norske tommer. Vi måler en pillhøyde/oppspanning på 2 millimeter over den synlige lengden. Drageren ser ut til å ha

emnene orientert langs pilhøyden, altså med kuven på stokken opp, dette må altså vært planlagt da tømmeret var på saga. Vankant ser også ut til å være godt planlagt, så majoriteten av vankant ikke havner mot kammene.



Figur 33 Magne Kleiveland snorer underkant bjelke for å sjekke pilhøyde. Foto PSP

Drageren har kamlengder på 55cm/21 norske tommer, 34mm/ 5/4 norske tommer høyde. Målene varierer 1-2millimeter Der hvor vi vanligvis finner et 'møne' i midten av drageren, er det heller sagt et vannrett snitt på cirka 80 centimeter mellom de to første kammene til hver side. Se fig 31 og 33. Dette er unikt blant alle dragerne vi har sett på.

Allikevel fremstår det som svært logisk når emnene er dimensjonert på saga. Da har en allerede flaten klar på overstykket, og en trenger kun ta ut material av understykket.



Figur 34 Stoppspor etter saga. Vankant mot kam. Fas på kam. Foto PSP

Videre er dette eneste drageren vi kan se konsekvent bruk av langvedsag og tverrvedsag brukt til uttak av hele kammene. Vi kan se stopp-sporene etter saga. Her er det også en avfasning på understykkets kam, se figur 34. Vi ser også tydelig plassering av vankant mot



Figur 35 Midten av drageren har ikke møne. Foto PSP

kam i figur 34 og 36. De fleste kammene er sagt i vinkel med kamflaten, mens i figur 36 ser vi en unøyaktighet, uten at det har fått konsekvenser. Det gjør derimot at vi ser inn til blikket som er lagt mellom kammene. Blekkets funksjon er jeg usikker på, men ettersom det er gjort

regelmessig på alle kammene, tror jeg det har å gjøre med å gi en hardere flate for endeveden å låse mot.



Figur 36 Blekk i kam, foto PSP

Tilbake på figur 33 ser vi også en seksjon fra en av de kasserte kammadragerne fra restaureringen stående på gulvet. Eieren av bygget tok vare på denne under demontering av de gamle dragerne, til stor glede for oss studenter. Dette er en midt-seksjon fra en av de lengere dragerne, men holder samme bredde og høyde som den komplette. Så det kan tenkes at det har vært en form for masseproduksjon når boligen var røyst siden de er dimensjonert likt. Her



Figur 37 Tverrsnitt fra demontert drager, foto PSP

fikk vi muligheten til å se nærmere på verktøyspor, materialkvalitet, plassering av marg og vankant, da seksjonen fremdeles var boltet sammen slik den alltid har vært.

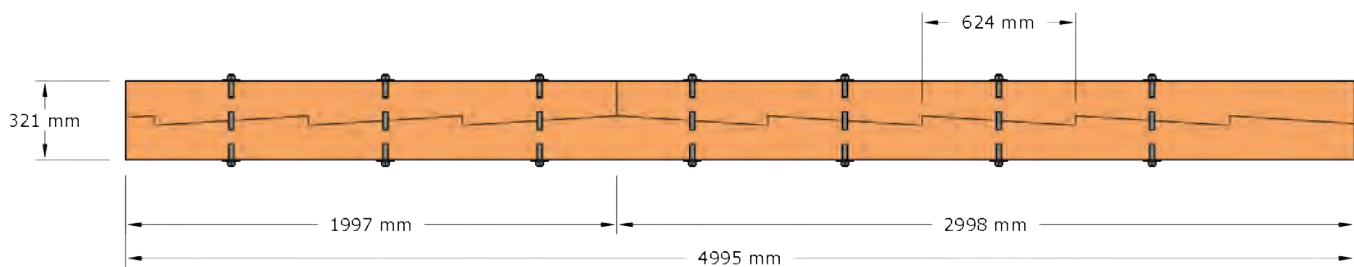


Figur 38 Seksjon fra demontert kammadrager, her ser vi også midtseksjonen uten «møne» også, foto PSP

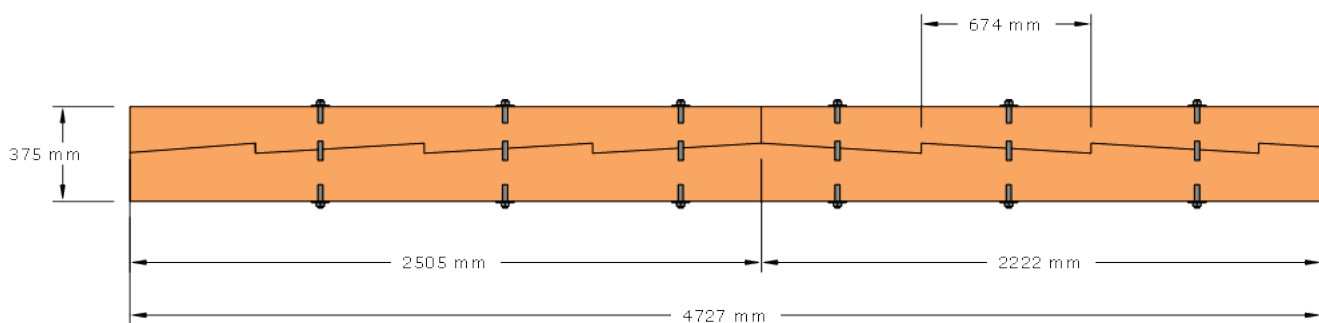
8.3 Kammadrager med delt overstykke

8.3.1 Gamle Bergen, bakeri

I kjelleren på bakeriet i Gamle Bergen finner vi to ulike, men parallelle kammadrager i samme rom. Kjellerrommet var et produksjonslokale, mens etasjene over dragerne ble hovedsakelig brukt som lager for korn og bakevarer, noe som kan forklare behovet for kammadrager. Bakeriet ble flyttet til Gamle Bergen Friluftsmuseum på 1950 tallet, fra Bergen sentrum. Bygningen er trolig fra midt-1800 tallet.



Figur 39 Drager 1, langs sørvegg. illustrasjon PSP



Figur 40 Drager 2, midt i rom. Illustrasjon PSP

I figur 39 og 40 kan vi se de to kammadragerenes ulike utforminger. Begge har delt overstykke, er boltet midt i hver kamflate og begge ser ut til å være av furu. Treslag er derimot noe usikkert, da det er flere malingslag på begge dragerne. Der slutter imidlertid likhetene, da alle mål er forskjellige. Det virker som om målene på Drager 1 ligger tett mot norske tommer og alen, mens målene i Drager 2 ligger nærmere britiske inch. Bredden på dragerne er henholdsvis 152 millimeter og 180 millimeter. Boltingen er systematisk utført likt, men det er forskjeller i dimensjon på bolter, skiver og muttere mellom de to dragerne.



Figur 41 Drager 1 over benk, foto Magne Kleiveland

I illustrasjonen figur 39 ser vi tydelig at det er ikke er et naturlig senter for møtet mellom de to overstykkene på Drager 1. Venstre ende er opplagret på en søyle og vi kan se endeveden cirka 10 centimeter fra siste kam (fig 41), samtidig som den andre enden er opplagret skjult i muren. Jeg antar derfor at Drager 1 har vært tilført i senere tid, muligens under flyttingen av bygget, eller ved endret behov for bæring mens bygningen fremdeles var i bruk. Om drageren opprinnelig var produsert med like overstykker, kan det se ut til at drageren har vært godt over 6 m lang. Kamhøyden er i snitt på 38 millimeter, 1,5 norsk tomme. Kam lengden varierer nært en alen på 628 millimeter, mens første kam på venstre overstykke er hele 16 millimeter



Figur 42 Ende drager 1, på søyle. foto PSP

kortere, altså 612 millimeter. Dette kan ha noe med justering av forspenning under montering

å gjøre, da det kan gjøres en justering mellom de to overstykkene. Det er i dag 3 millimeter oppspenn i drageren. Begge overstykkene ligger med topp mot midten, rot mot endene.

Drager 2 er plassert midt i kjeller-rommet, under en laftet skillevegg i 1.etg, så denne får nok også last fra lagring på loftet/2.etg. Gulvarealet drageren understøtter er cirka 35 m² x 2. Vi kan se lukene mellom etasjene rett ved siden av drageren, disse gjorde det mulig å se full høyde på drageren.



Figur 43 Drager 2, midt i rom. foto PSP

Også her er det store variasjoner i kamlengde. fra lengste på 674 millimeter til korteste på 635 millimeter skiller det hele 39mm! Likt som om ved Drager 1 er den korteste kammene mot senter.

Snittlengden er 664 millimeter, kamhøyden er jevnt over 40 millimeter. Det er temmelig tykt blekk i kammene. 1,5 - 2 millimeter tykt, rustet, vanskelig å se bak malingen. Her er det hele 25 millimeter



Figur 44 Blekk i kam, vankant. foto PSP

nedbøy, noe som kan tyde på at drageren har vært overbelastet. Det er grov vankant i underkant og i kammene på både under- og overstykket, men ingen tydelige svikter eller oppsprekking, så jeg kan tenke meg at nedbøyen har kommet av høy langtidslast mens bygget fremdeles var i bruk.

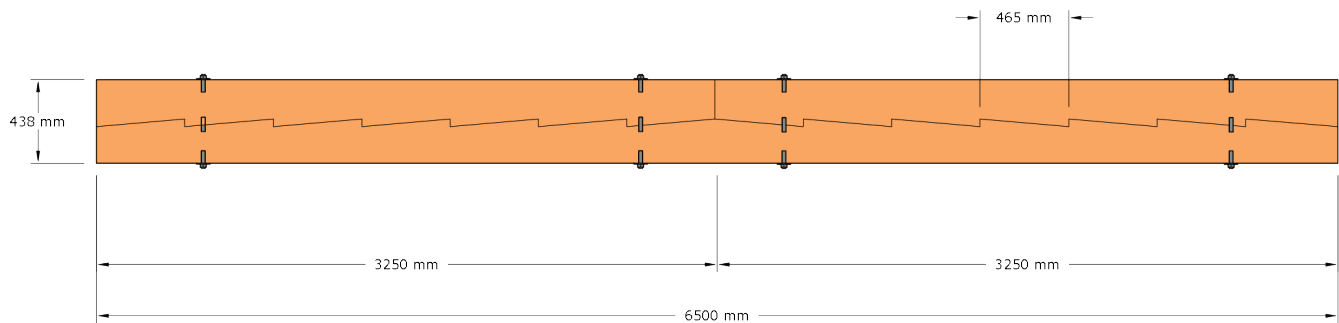
Det er i senere tid montert sprinkler-anlegg i bygningen. Hullene for rørene er dessverre boret på et lite egnet sted, altså i trykksonen for kammen til overstykket. (fig 45) Selv om drageren i dag kun bærer husets egenvekt og mindre nyttelast vil dette kunne være en del av forklaringen på nedbøyen. Allikevel er det lite tegn på kompresjon eller oppsprekking i drageren, dette gjelder også nært sprinkler-hullene.



Figur 45 Blekk i kam, vankant og sprinkler, foto PSP

8.3.2 Solberg gård

På Solberg gård i Ytre Enebakk finner vi to kammadragerer med delt overstykke.



Figur 46 En av de to like dragerne på Solberg gård. Illustrasjon PSP

Dragerne står parallelt i en delvis sammenrast låve/fjøs. Bygningen skal være oppført i 1896, muligens tidligere. Det er i delen til venstre på figur 47 vi finner dragerne. Baksiden av låven



Figur 47 Låven på Solberg gård, foto PSP

har rast mest sammen, men stikk mål på drageren i den sammenraste seksjonen er nært identiske med den mer tilgjengelige drageren under tak, så vi valgte å bare dokumentere den som sto tørt.

Drageren er rydd med øks og måler cirka 19 centimeter bredde og 43 centimeter høyde. Kamlengdene er rundt 46,5 centimeter og kamhøyden på 4 centimeter. Det kan se ut til at det hverken er brukt norske tommer eller inch, da målene går opp midt imellom de to. Lengden på drageren er 6,5 meter, og inndelingen ellers i fjøset ser ut til å gå opp med meter og ikke alen. Drageren har de korteste kammene til nå, med noe lengere kammer ut mot endene.



Figur 48 kammadrageren som står under tak, Solberg gård. Foto PSP

Det som tydelig utmerker seg ved denne drageren, er merkingen og plassering av kam i forhold til merkingen. Den loddrette delen av kammen er tydelig merket med blyant på både over- og understykke.

Kam-flata er hogd ut og kam-enden er sagd i understykket. På overstykket er derimot kam-enden sagd ut til siden for oppmerkingen. (fig 29) Avstanden til strek varierer langs hele



Figur 49 Merking og uttak av kam, foto PSP

drageren, og

avstanden øker ut mot endene. Dette henger nok sammen med at en ønsker forspenning i drageren. Jeg mistenker at i dette tilfellet at tømmeren har tatt dette på øyemål, uten ny oppmerking på overstykket. (siden det er store variasjoner) I så fall er det helt genialt.

Selv om deler av bygningen er rast sammen, tar drageren fremdeles last fra bjelkelag, egenvekt av bygget, og taklast med snø. Trolig tar den i dag mer last en tiltenkt, ettersom store deler av konstruksjonen i motsatt side av bygget har kollapset. Denne drageren har i dag 1 centimeter pillhøyde, altså er den trolig forspent.

I senter av drageren er det merket i lodd og krysset for senter, se figur 50. Her er overstykkene ikke kappet til denne merkingen, men noe til venstre. Første kam mot venstre er kortere. På baksiden er det flere spor etter saga i understykket. I praksis kan dette bety at også lengden på de to overstykkene har blitt justert helt mot slutten av sammensettingen av kammadrageren for å oppnå rett forspenning. Dersom mine tanker om dette stemmer, er det brukt en svært intuitiv produksjonsmetode, der tømmeren har hatt full kontroll på resultatet basert på sine erfaringer.



Figur 50 Midten av drageren, foto PSP

Boltingen av drageren er også noe annerledes på Solberg gård. Her er det brukt vanlige bolter med mutter mot midten av drageren, som illustrert på figur 46. Boltene som er brukt ut mot endene er uten mutter, de er heller klinket i toppen. Altså en stor spiker satt inn fra undersiden, mens der den kommer gjennom på med toppen av drageren er den klinket over en stor skive.



Figur 51 Loddsnitt til siden for merking. Vankant i hele kamhøyden. Foto PSP

På drageren i den sammenraste delen kunne vi se at merking, rying, hogging og saging stemmer godt overens med den dokumenterte drageren. Den står ute i vær og vind. Lik dimensjon på tømmeret gjør at denne også har mye vankant i kammene.

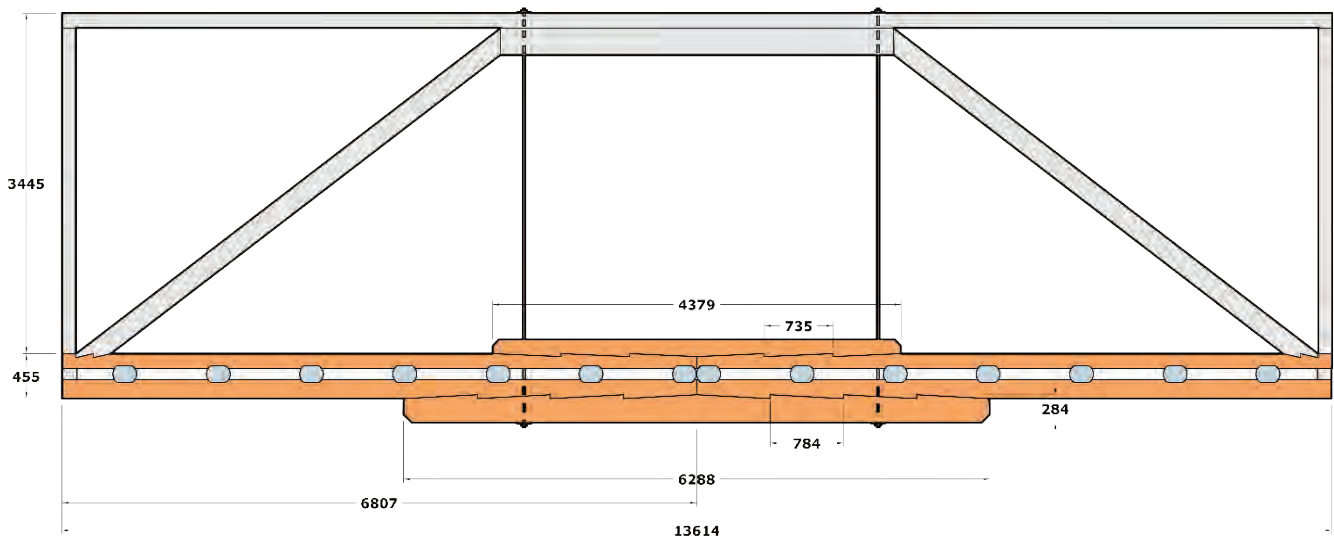


Figur 52 Kammadrageren i det sammenraste omtådet står i vær og vind. Foto PSP

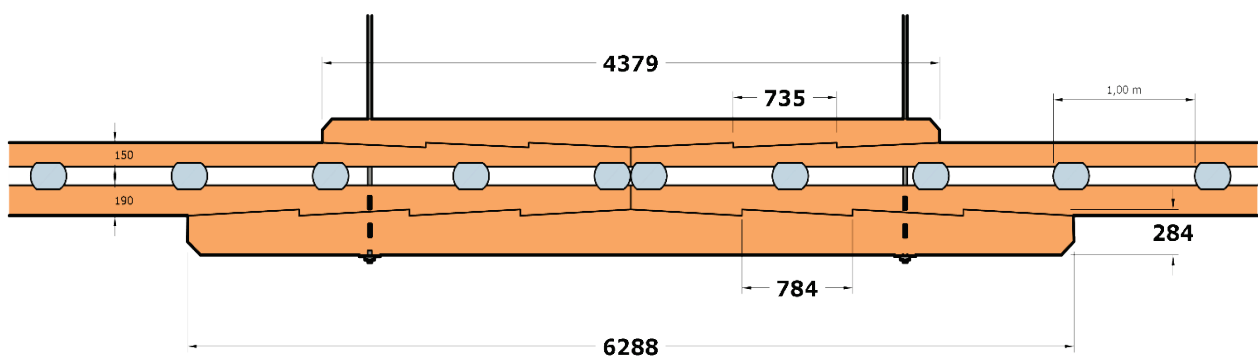
8.4 Kamdragere som inngår i et større konstruksjons-system

8.4.1 Vestre Borge gårdsbruk

På Vestre Borge gårdsbruk utenfor Drammen finner vi et komplekst system i et fjøs. Fjøset er bygd i 1879, og har en sinnrik bro-konstruksjon inne i fjøset over høylaet. Konstruksjonen spenner over 13,6 meter. Kamdragerne i dette systemet fungerer delvis som dragere, delvis som samhold. Det vil si; skjøtingen av samholdet er kammet for å ta opp strekk-kreftene i det jeg vil kalle et dobbelt hengverk.



Figur 53 Den flotte konstruksjonen på Vestre Borge, illustrasjon PSP



Figur 54 Nærmere utsnitt av den kammede midt-seksjonen, ca 6,3m lang. Illustrasjon PSP



Figur 55 I delen til høyre av fjøset finner vi konstruksjonen. Foto PSP

Sperrene i taket hviler på denne konstruksjonen og det er to slike hengverk parallelt som danner broen. Åsene til brodekket er felt inn mellom de to kamma samholdene, så de kan også ha en tiltenkt funksjon som dybler. På bakgrunn av at denne virkemåten er noe ulik den vanlige kammadrager, kan det diskuteres om den skal benevnes som en kammadrager. Men teknikkene som er brukt her for å stoppe glidekreftene likner på teknikkene i en kammadrager, så jeg anser den som en slektning av kammadrager. På figur 54 kan vi se nærmere på den kammede seksjonen av hengverket. Den nederste drageren fremstår som en ordinær kammadrager (på liknende måte som bjelkelaget i Arsenalet, Akershus festning, se punkt 8.5.1) med et understykke på cirka 6,3 meter. Det er derimot ikke opplagring ved endene av understykket, den henger i boltene. Den øvre drageren har kammingen motsatt vei.



Figur 56 Det søylefrie rommet under bro-konstruksjonen. Foto PSP

I illustrasjonen min mangler dessverre inntegning av boltene som står til siden for senter av drageren. De kan så vidt skimtes i figur 57.

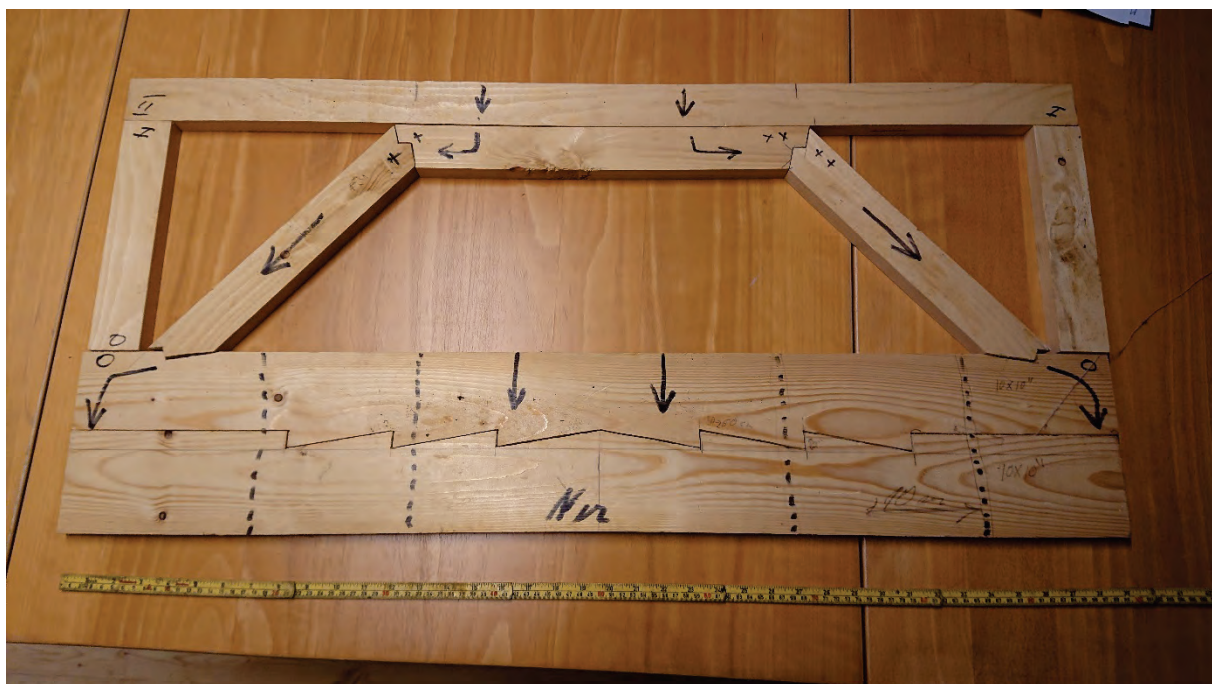


Figur 57 Konstruksjonen sett fra høylaet, foto PSP

På Vestre Borge gårdsbruk er det meste bygd i gran av egen skog, og gården hadde tidlig egen oppgangssag. Virket i denne konstruksjonen er langvilligt og slankt, med lite kvist og forholdsvis tettvokst, jeg vil si det holder høy kvalitet. Bygningen er fremdeles i bruk i dag og bonden har kjørt på brukonstruksjonen med traktor uten negative konsekvenser.

Om denne konstruksjonen fører til at samholdet tar opp strekk-kreftene i hengverket, overføres disse kreftene via de kortere overstykkene, som holdes igjen av de 5 kammene hver vei. Langs drageren målte vi en pilhøyde på 2,5 centimeter.

Jeg undrer meg over *hvorfor* denne løsningen er valgt. Det er ingen tvil om at det gir et unikt og enormt rom til høylaet, men på en annen side kunne dette vært løst svært mye enklere med to eller fire søyler. Kanskje det har vært en fagprøve i brokonstruksjon. Uansett, så bør denne bygningen absolutt undersøkes nærmere, da det ikke ble satt av nok tid til å dokumentere den totale konstruksjonen i fjøset.



Figur 58 Modell, lasteveier. Foto PSP

I diskusjoner med den erfarne tømmeren Trond Oalann dro han fram en relevant modell på bordet. Den lagde han sammen med Oddbjørn Myrdal. Myrdal er en av få tradisjonsbærere på feltet og Oalann har gått i lære hos han. Modellen på figur 58 viser virkemåten i en lignende konstruksjon som på Vestre Borge. Lasteveiene anvises med piler. Vi kan da enkelt se at taklast går ned via skråstreverene, til drageren, og videre til opplagring. Denne lasten fører til at drageren i bunn påføres strekk-krefter. I tillegg har drageren på Vestre Borge stål-stagene som henger opp drageren. I modellen er det en enkel drager som håndterer denne lasten uten

oppheng. Modellen ligger nært til virkemåten i konstruksjonen på Vestre Borge, men det er store forskjeller i måten drageren i brodekket er bygd opp på. Modellen fra figur 58 bør sees i sammenheng med illustrasjonen i figur 53.

Til slutt kan vi trekke paralleller til det fordyblede samhaldet i takkonstruksjonen på Dampsaga i Steinkjær (fig 11) der et understykke sørger for å ta opp strekk-kreftene via dybler, for å fungere som skjot av samhaldet.

8.4.2 Kongsberg Kirke

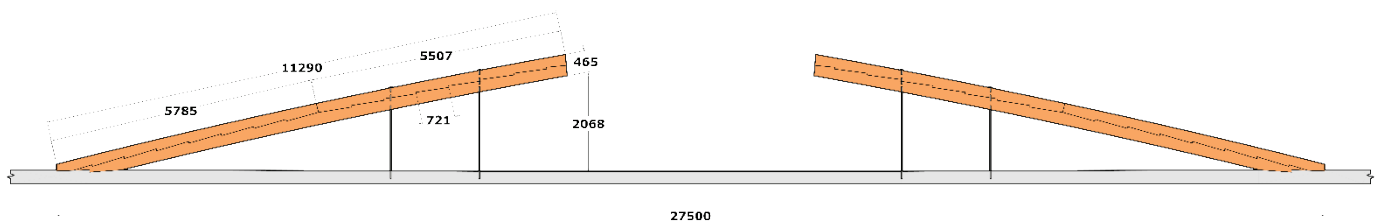
Kongsberg Kirke er en korskirke, og Norges største barokk-kirke, innviet i 1761. Kirken bærer i stor grad preg av at det var to tyske fagfolk, med hver sin helt ulike stil, som stod ansvarlig for kirkebygget de 21 årene byggeperioden varte. Kirken har et forholdsvis enkelt ytre og et svært rikt indre, blant annet med sine 2400 sitteplasser (flest i Norge) og to kammadrager (wikipedia.no, 2019).



Figur 59 Land Cruiseren kom endelig til Kongsberg Kirke, foto Magne Kleiveland

Kirken har en valmet takkonstruksjon på cirka 40,5 x 19,3 meter. På loftet finner vi to dragere i en felles konstruksjon. Langs møneretningen er det brukt skråstilte kammadrager i et slags sperrebind. Den dokumenterte konstruksjonen spenner over 27,5 meter med to kammadrager, hver på 11,3 meter. Dimensjonen på dragerne er ca 46 x 21 centimeter.

Illustrasjonen i figur 60 viser ikke midt-delen av konstruksjonen, kun orienteringen og plasseringen av kammadragerne.



Figur 60 De to kammadragerne, Kongsberg kirke. Illustrasjon PSP

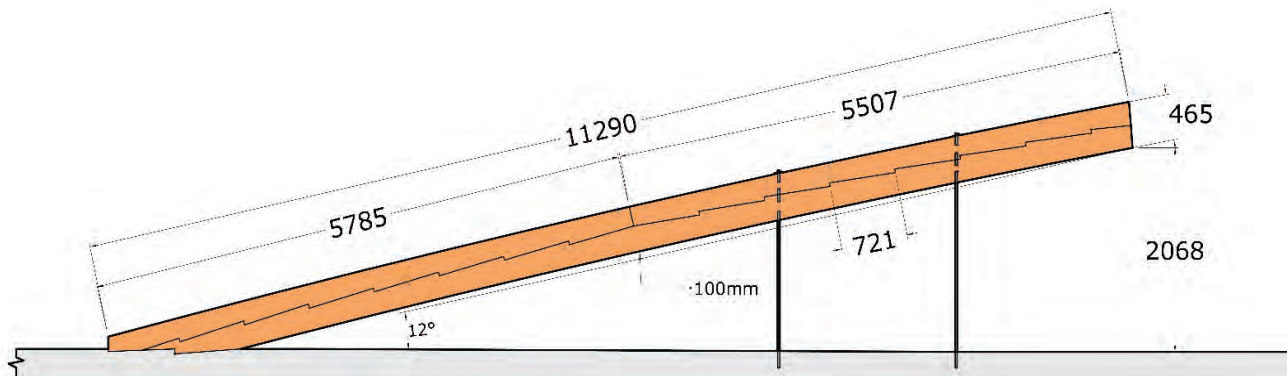


Figur 61 Sperrebindet, satt sammen av to foto. Foto PSP

Som på Vestre Borge gård har vi å gjøre med et stort komplekst system. Forskjellen er at her er det kammadragerne i øvre del av konstruksjonen som samholdet henger fra. Dragerne står i trykk spent opp på samholdet. Samlet sett utgjør alt dette et stort sperrebind.

I figur 61 kan vi se midt-seksjonen av sperrebindet. Bildet er satt sammen av to foto, derfor noe vanskelig perspektiv og unøyaktigheter. Midtseksjonen fungerer som en tverrligger slik at de to kammadragerne står i trykk. Det er flere tegn som tyder på at de to dragerne, tverrliggeren over, og de to skrå bjelkene over kan ha kommet på plass etter selve takkonstruksjonen. For det første, så har treverket en litt annen patina, gulere farge. De loddrette stavene som kammadragerne støter mot har nyere fellinger/spunser der drageren er plassert (midt i fig 64). Dragerne og noe av midt-seksjonen har også en mildere patina en det omkringliggende materialet. Jeg spekulerer derfor i at dragerne og bukken i midten kan ha vært tilført for å hindre eller begrense et nedsig i himlingen. Loftsgulvet og bjelkene ligger i et krysslågt bjelkelag, som en mellom-etasje. Det er ingen av sperrene fra valmingen som støtter seg direkte på kammadragerne. Dette, sammen med at hele takkonstruksjonen er det

mest komplekse jeg har vært borti, gjør at jeg ikke vil drøfte videre om virkemåten til drageren, dette kunne vært gjenstand for en større studie i seg selv.



Figur 62 Utsnitt av den ene drageren. Illustrasjon PSP

I figur 62 ser vi nærmere på den ene drageren. Den ligger skrått, 12 grader, og har en oppspenning/pilhøyde på 10 centimeter. Høyden er svært jevn langs den lange drageren. Understykkets dimensjon er også ca 10 centimeter høyere på midten enn i endene, og det ser ut til at overstykkene ligger med topp mot senter, rot ut mot endene. Det kan være årsaken til høydevariasjonen på understykket, samtidig som høyden kan ha vært planlagt slik som Broch



Figur 63 Baksiden av drageren har tydelig merking for plassering av overstykkene. Foto PSP

beskriver dimensjonering av understykke. Dette er den eneste drageren som har pilmål også på oversiden. Ettersom den ikke skal bære hverken gulv eller sperrer på oversiden har ikke dette noen betydning. Det må ha vært en annerledes prosess å produsere denne drageren, kontra de andre med delt overstykke. De to overstykkene har ulik lengde - det skiller 28 cm. Som nevnt tidligere tror jeg drageren har vært ettermontert. Den kan den ha vært 11,5 meter i utgangspunktet før tilpasning til felling mot samhold og bukken i midten.



Figur 64 Høyre ende av kammadrageren, er felt inn i staven, på ei skrå felling for å stramme opp..

Vi ser spunsing av den skrå flata på staven. Foto PSP

8.5 Kammadragerer og kammabjelker i et felles system

8.5.1 Arsenalet, Akershus Festning

Vi fikk oss en stor overraskelse under dokumentasjons-turneen da en kjær medstudent meldte inn et tips om et par kammadragerer. Vi dro til det som i dag er forsvarsmuseet på Akershus festning. Det er oppført ca 1860, da som Arsenal og lagerbygning.



Figur 65 Forsvarsmuseet, Akershus festning. Foto PSP

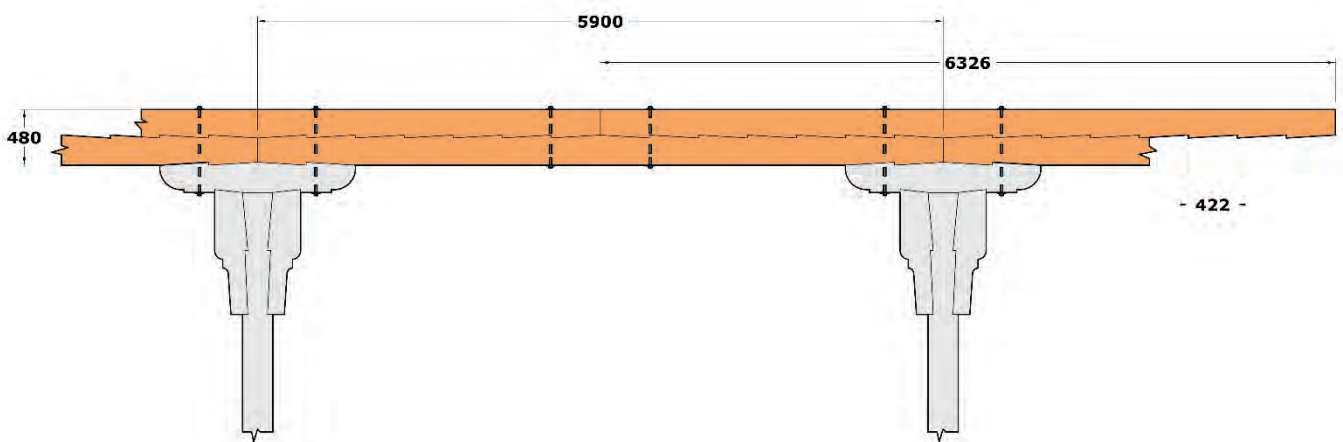
Rett innenfor døra kunne vi begynne å beskue dragerer så langt øyet kunne se. Etter en kjapp opptelling, kom vi til at det måtte være 446 kammadragerer i bygningen.



Figur 66 Langsgående kammadragerer og et bjelkelag av kamma bjelker på tvers av bygningen. foto PSP

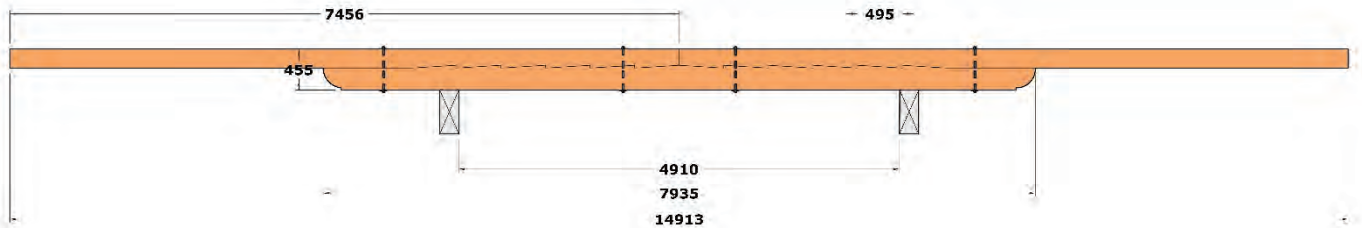
Først, om de langsgående dragerne: Figur 67 viser et helt understykke mellom stavene, et helt overstykke på ca 6,3m, og de tilstøtende dragerene. Det er to rekker med kammadrager på 72 meter som strekker seg på langs av bygget. Kammadragerne er skjøtet over stavpar ved cirka hver sjette meter. Dragerne er ymset over stavene slik at understykket ligger fra stav til stav og overstykkene halvt forskjøvet over understykket. Drageren er 48 centimeter høy og 21 centimeter bred. Kamlengden er ca 42 centimeter, men varierer pluss minus 4 millimeter på de oppmålte dragerne. Kamhøyden er nært en norsk tomme over det hele.

Der understykket er skjøtt over en stav ligger den kammet i hop med en pute. Puta er felt på staven med kammede lasker. Alt er godt låst med bolter i alle retninger. Bygningen er i hesteskoform, altså er det 4 lengder til med dragere på 27 meter. Til sammen 252 meter med denne typen dragere i første etasje (fig 66). I andre etasje er situasjonen lik, og i hjørnetårnene (3. etg) er det en svært avansert takkonstruksjon med kammadrager som fortjener en egen studie i seg selv.



Figur 67 Langsgående drager, illustrasjon PSP

Over de langsgående kammadragerne ligger det et bjelkelag av kamma bjelker som er cirka 15 meter bredt. Kammingen er hovedsakelig i midt-partiet mellom de to langsgående, se figur 68.



Figur 68 Kammet bjelkelag på tvers av dragerene. illustrasjon PSP

Understykket på bjelkelaget er utkraget 1,2 meter fra den langsgående drageren, se figur 68 og 69. Bredden på virket i bjelkelaget er 20 centimeter, høyden er 45,5 centimeter der det er understykke. Boltingen er systematisk men noe ujevnt plassert. Boltene er cirka en alen til side fra senter og en alen trukket inn fra enden på understykket.



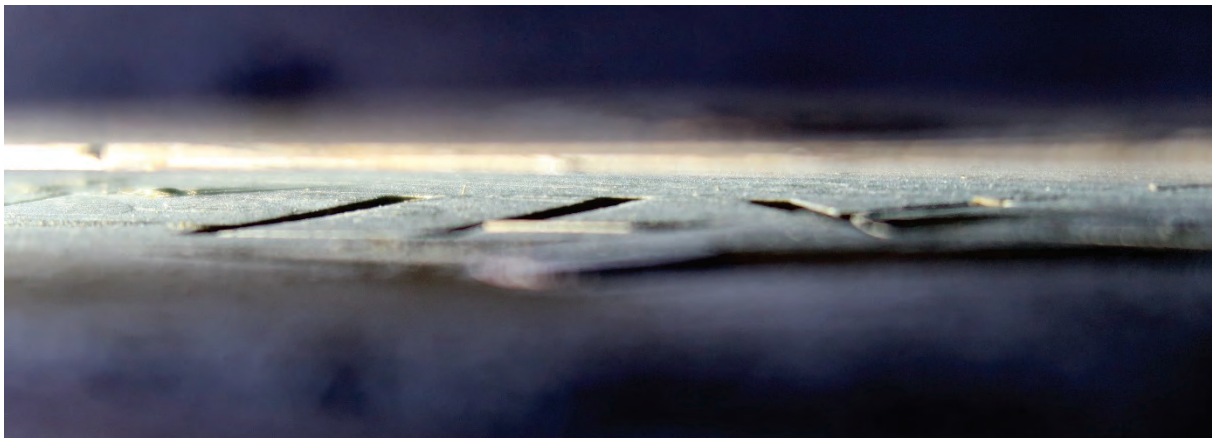
Figur 69 Langsgående drager over to søyler og vi ser utkragningen av bjelkelaget. Foto PSP

I Arsenalet er det stor variasjon i virket som er brukt til kammadragerne, søylene og bjelkelaget. Det varierer fra rettvekst til vridde emner og fra lite kvist til stor kvist. Her tror jeg vi finner de fleste variasjoner som er å oppdrive i tømmer. Allikevel ser det ut til at

konstruksjonen har stått seg veldig godt. En kan bare fantasere om hvilke laster dette har vært prosjektert for, men det vil være nødvendig å undersøke dette for å forstå dette kraftige bjelkelaget.

Arbeidet med denne konstruksjonen bør kartlegges nærmere, da det er uklart hvilket system som er benyttet for oppmerking og produksjonsmetode. Det er variasjoner i dimensjonene, i kam-detaljene osv. Vi finner merking inni kamflata som kan likne en handverker-signatur, samt tall-merkinger hogd ut. Dette var tenkt å bli skjult ved montering av drageren men vi kan se noe av det der overstykket har vridd seg fra understykket. Bildet på fig 70 er tatt inn i kamflata med slepelys for å tydeliggjøre signaturen eller merkesystemet som befinner esg der.

I denne oppgaven er det ikke mulighet til annet enn å gi et innblikk i den masseproduksjonen som har foregått og systemet som er brukt på denne bygningen.



Figur 70 Signatur eller merkesystem inni kamflata. Foto PSP



Figur 71 Overstykket har vridd seg en centimeter, så vi kan se inn i kamflata. Foto PSP

8.6 Andre dragere som ikke er målt opp

I ettertid har det kommet inn flere tips om kammadrager som kunne vært veldig interessante å få med i studien, men jeg har ikke hatt mulighet til å dokumentere disse. Interesserte oppfordres til å ta kontakt om det skulle være av interesse, for å utveksle informasjon om flere funn av kammadrager.

8.7 Resultat fra oppmålingene

Måleskjemaene fremstår som en kladd i dag, -og det er de for så vidt. De har hele veien vært dynamiske, endret og revidert etter hvert som det var behov for det. Skjemaene inngår som et vedlegg og resultat av hele oppgaven. Nå er mange av resultatene fra skjemaene presentert under hver enkelt kammadrager avsnitt. For mer informasjon eller tilføyinger kan en gå inn i skjemaet tilhørende den enkelte drager. Måleskjemaene er en kilde og et verktøy for å tegne, diskutere eller produsere nye dragere på grunnlag av de dokumenterte dragerne. Det er en større oppgave å gå igjennom talldataene for å se grundigere etter forholdstall eller brøker en kan finne i dimensjoneringen. Dokumentasjonen kunne vært brukt til å reprodusere dragere med andre mål, basert på forholdstall. Dette ble det ikke satt av tid til i denne studien.

Måleskjemaene har blitt brukt til å tegne hver enkelt drager som en 3D modell, men er presentert her i oppgaven i 2D for tydelighet.

Et ønsket resultat er at oppgaven skal kunne brukes som en inspirasjon til videre diskusjon, læring og videreføring av arbeidet med kammadrager.

8.8 Brudd, skader og nedbøy

Vi prøvde på forhånd å abstrahere problemet med nøyaktigheten under utforming av kammene i drageren og hvordan de møtes. Vi gjorde handverksforsøk for å visualisere hva som skjer og hvor lett en kam går til brudd. Vi så for oss at om en enkelt kam var for lang, ville den hindre de andre i å gå i inngrep, og dermed ville den for lange kammen gå til brudd og forårsake en sjokkbelastning på de resterende kammene. En kan også se for seg andre problemer med nøyaktigheten på utformingen av detaljene i drageren som kan føre til at drageren ikke fungerer som den skal. Imidlertid tyder alle våre observasjoner fra oppmålingen på at dette ikke er tilfelle. Dragerne ser ut til å være fremstilt med helt ordinære tømmermetoder og dette har i alle de dokumenterte dragerne vist seg å være tilfredsstillende. Dragerne viser ingen kritiske tegn til brudd, nedbøy eller andre defekter. I tillegg til de nøyere dokumenterte dragerne i Arsenalet, fikk vi tilbrakt noen dager der for å se på de øvrige kammadragerene og kammabjeltene, heller ikke blant disse klarte vi å finne dragere med problemer.

9 Konklusjon

Det er ingen tvil om at denne oppgaven gir kammadrageren en velfortjent oppmerksomhet. Når dragerne opptrer i så ulike kontekster, med så forskjellig utforming, med så lite tegn til skader og spredt over et så stort tidsrom i historien, peker dette i retning av at det å bygge en kammadrager, ikke har vært noen ekstraordinær begivenhet for vanlige tømmerere. Det ser heller ut til å være noe de har tydd til når det var nødvendig, omtrent som når en moderne tømmer i dag ved behov spiker-limer sammen to stk “2x8” til en drager.

Det har vært, og vil alltid være behov for å bære last over større spenn. I restaurering, ombygging og nybygg av boliger, broer, gulv, fjøs, lager, produksjonslokaler og andre installasjoner vil det være hensiktsmessig å ta i bruk denne teknikken igjen. I dag er det en overkommelig utfordring å ta den tilbake i bruk og inn i verktøykassa igjen, og med videre samarbeid med tradisjonsbærere vil det være en fin sti å tråkke opp igjen.

Denne studien har hatt en begrenset tidsramme og en av svakhetene ved studien er som tidligere skrevet at det ikke er blitt gjennomført tester av kammadragerer i full størrelse. Utdanningsperioden er over, men læringsperioden er bare så vidt i gang.

Studien konkluderer ikke med allmenngyldige slutninger, da ikke et stort nok omfang eller antall dragere er dokumentert grundig i studien.

Parallelt med oppmåling og dokumentasjon av

kammadragerne, gjorde jeg

uttak av tømmer til produksjon av dragere i full størrelse. Dimensjonene på virket ble tatt ut i fra måleskjemaet, med formål å lage flere dragere på ca 10 meter.



Figur 72 Emne til Kammadrager på rot. Foto PSP

Forsøk med å lage kammadrager ble satt på vent, da jeg ikke ser formålet i å dimensjonere de nye dragerne direkte ut ifra måleskjema. Dragerne jeg skal produsere må tilpasses formålet. Tømmeret er barket og ligger til tørk, klart til ny giv.



Figur 73 Tømmer kjørt ut av skogen, emner til 5 kammadrager. Foto PSP

Pål Sneve Prestbakk, [pal.sneve \(a\) gmail.com](mailto:pal.sneve(a)gmail.com), IG: [@ptscustom](https://www.instagram.com/ptscustom)

10

Bibliografi

- Badalini, J. & Dandria, S., 2009. *Diffusion of a Technological Model along the Adige Path: The Composite Beams*, Milan: Polytechnic of Milan, Italy.
- Broch, T., 1848. *Lærebog i Bygningskunsten: nærmest bestemt for Den Militaire Høiskoles Elever*. Christiania: Werner & Comp.
- Brunsvik, H., 2003. *Oslo Domkirke*. Oslo: s.n.
- Giunchi, E. et al., 2003. *Wooden composite beams: A new technique in the Renaissance of Ferrara*, Madrid: Proceedings of the First Congress on Construction History,.
- Godal, J. B., Moldal, S., Oalann, T. & Sandbakken, E., 2009. *Beresystem i eldre norske hus*. 2 red. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag.
- Holtebekk, T., 2019. *Store norske leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/SI-systemet>
[Funnet 14 11 2019].
- Jones, R., 2018. *Cut & Dried: A woodworker's guide to timber technology*. Fort Mitchell: Lost Art Press LLC, Christopher Schwarz.
- meccanica.no, 2019. *meccanica.no*. [Internett]
Available at: <http://meccanica.no/statikk/bestemthet.html>
[Funnet 13 november 2019].
- Nielsen, N. P., 1953 . *Yrkeslære for tømrere*. Oslo : Yrkesopplæringsrådet for håndverk og industri.
- Nielsen, N. P., Paulsson, G. & Nygaard, A., 1944. *Fagbok for tømrere*. Oslo: Tanum.
- Rug, W. et al., 2012. *Flexural load-bearing capacity of composite beams with teeth joints*, Berlin: Ernst & Sohn.
- Salmonsens, I., 1915. *Salmonsens konversasjonsleksikon 2. utgave*. s.l.:s.n.
- Store norske leksikon, 2019. *Store norske leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/drager - b%3%A6rende bjelker>
[Funnet 14 11 2019].
- Store norske leksikon, 2019. *Store norske leksikon*. [Internett]
Available at: <https://snl.no/pilh%3%B8yde - bygningsteknikk>
[Funnet 15 11 2019].
- Valeriani, S., 2006. *The Roofs of Wren and Jones: A Seventeenth-Century Migration of Technical Knowledge*, London: London School of Economics..

Vinci, L. d., 2019. *Codex Atlanticus*. [Internett]

Available at: <http://codex-atlanticus.it/#/Overview>

[Funnet 2 11 2019].

wikipedia.no, 2019. *Wikipedia.no*. [Internett]

Available at: https://no.wikipedia.org/wiki/Kongsberg_kirke

[Funnet 14 11 2019].