



MASTEROPPGAVE <2020>

FAGOMRÅDE: TIMBER ENGINEERING	DATO: 08.06.2020	ANTALL SIDER: 86
----------------------------------	---------------------	---------------------

TITTEL:

Hullkantfasthet og stivhet av gjengestenger i bartrevirke.

Embedment strength and stiffness of threaded rods in softwood.

UTFØRT AV:

JalalQazi

SAMMENDRAG:

En av de viktigste komponentene for en konstruktør er den mekaniske egenskapen for et knutepunkt eller forbindelse. Manglende kunnskap om hullkantfasthet i trekonstruksjon ved bruk av gjengestenger eller annen type stav, gjør at trevirke blir et mindre attraktivt valg i forhold til andre typer byggematerialer. Hullkantfasthet, hullkantstyrke og stivhetsmodulen er viktige momenter ved dimensjonering av knutepunkt. Konstruksjonens bæreevne og stivhetsmodulen kan påvirkes av disse momentene. I dagens foreslåtte designkode (Eurokode 5) finnes det ikke informasjon om å dimensjonere knutepunkt ved bruk av gjengestenger. Denne oppgaven spesifiserer et omfattende eksperimentelt forsøk, med mål om å kunne bestemme hullkantfasthet i bartrevirke ved bruk av gjengestenger. Testene er gjennomført parallelt og vinkelrett på fiberretningen i forhold til standarden NS-EN 383 og ISO 10984-2. I tillegg til hullkantfasthet, blir trykkfasthet, densitet og bøyningstest evaluert. Dette med hensikt å frembringe nødvendig informasjon tilpasset dimensjonering av et knutepunkt.

Resultatet fra dette eksperimentelle forsøket viser at det finnes små korrelasjoner mellom hullkantfasthet og tetthet/trykkfasthet/hullkantstivhet/stivhetsmodulen. Det eksisterende uttrykket for bestemmelse av dimensjonerende flytmomentkapasitet for gjengede stenger er sannsynligvis veldig konservativt. Resultatet fra tester viser at karakteristiske verdier for hullkantfasthet ved bruk av gjengestenger er større eller like store som de karakteristiske verdiene for hullkantfasthet ved å bruke dyble. Den eksisterende likningen for stivhet i EC5 viser betydelig mer kapasitet i forhold til resultatet fra eksperimentelle tester.

Hovedveileder: Haris Stamatopoulos, KT
Medveileder: Francesco Mirko Massaro, KT

NTNU

Norwegian University of Science and Technology

Faculty of Engineering

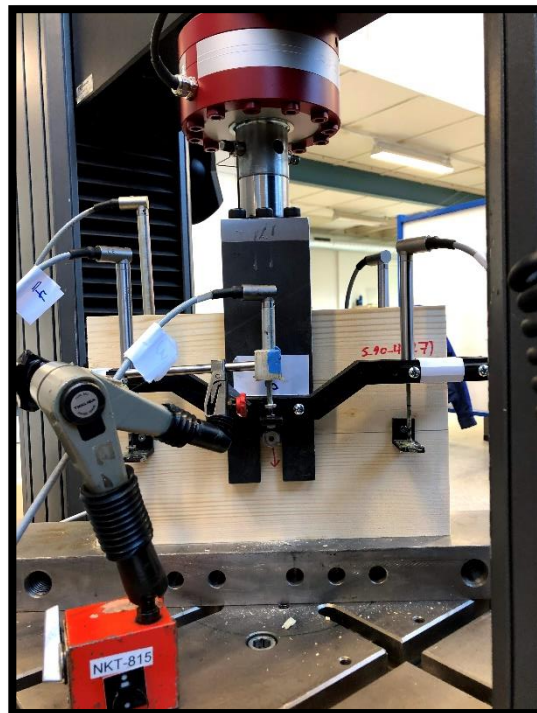
Department of Structural Engineering

Masteroppgave

Jalal Qazi

Hullkantfasthet og stivhet av gjengestenger i bartrevirke

Trondheim, juni 2020



Bygg - og miljøteknikk (2-årig)

Hovedveileder: Haris Stamatopoulos, KT

Medveileder: Francesco Mirko Massaro, KT

Sammendrag:

En av de viktigste komponentene for en konstruktør er den mekaniske egenskapen for et knutepunkt eller forbindelse. Manglende kunnskap om hullkantfasthet i trekonstruksjon ved bruk av gjengestenger eller annen type stav, gjør at trevirke blir et mindre attraktivt valg i forhold til andre typer byggematerialer. Hullkantfasthet, hullkantstyrke og stivhetsmodulen er viktige momenter ved dimensjonering av knutepunkt. Konstruksjonens bæreevne og stivhetsmodulen kan påvirkes av disse momentene. I dagens foreslåtte designkode (Eurokode 5) finnes det ikke informasjon om å dimensjonere knutepunkt ved bruk av gjengestenger. Denne oppgaven spesifiserer et omfattende eksperimentelt forsøk, med mål om å kunne bestemme hullkantfasthet i bartrevirke ved bruk av gjengestenger. Testene er gjennomført parallelt og vinkelrett på fiberretningen i forhold til standarden NS-EN 383 og ISO 10984-2. I tillegg til hullkantfasthet, blir trykkfasthet, densitet og bøyningstest evaluert. Dette med hensikt å frembringe nødvendig informasjon tilpasset dimensjonering av et knutepunkt.

Resultatet fra dette eksperimentelle forsøket viser at det finnes små korrelasjoner mellom hullkantfasthet og tetthet/trykkfasthet/hullkantstivhet/stivhetsmodulen. Det eksisterende uttrykket for bestemmelse av dimensjonerende flytmomentkapasitet for gjengede stenger er sannsynligvis veldig konservativt. Resultatet fra tester viser at karakteristiske verdier for hullkantfasthet ved bruk av gjengestenger er større eller like store som de karakteristiske verdiene for hullkantfasthet ved å bruke dyble. Den eksisterende likningen for stivhet i EC5 viser betydelig mer kapasitet i forhold til resultatet fra eksperimentelle tester.

Abstract

One of most important components in structural engineering is mechanical performance in the joints. Lack of knowledge about embeddings properties by using threaded rod or another type of fastener make a wood structure less attractive construction component compared to steel and concrete. Embedment strength, embedment stiffness and slip modulus are important to design a joint, as they effect the failure mode, load-bearing capacity, and stiffness of the joint. The proposed design code (Eurocode 5) does not continue information to the design joint with threaded rods. This paper specifies a comprehensive experimental experiment, that aims to determine the embedment properties in softwood by using threaded rod. The tests are conducted in parallel and perpendicular to the grain, according to EN 383 and ISO 10984-2 standards. In additional to embedment strength, compressive strength in parallel and normal to the grain, density test and three-point bending-test are evaluated to create enough necessary information to design a joint in timber structure.

Results from this experimental program shows that there is small correlation between embedment strength and/ Density, compressive strength, embedment stiffness or slip modulus.

The existing expression for the determination of the design yield moment capacity of threaded rods are probably very conservative. The results from tests show that the characteristic values for embedment strength by using threaded rods are greater or equal to those characteristics for embedment the strength by using dowel. The existing equation for stiffness in EC5 shows significantly more capacity compared to the results of experimental tests.

Forord:

Denne masteroppgaven vil avslutte to lærerike år ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppgaven, som vektet med 30 studiepoeng, ble gjennomført over en periode på 20 uker i fjerde semester. Situasjonen i dette semesteret var litt annerledes på grunn av spredning av pandemien Covid-19. Alle fysiske møter, forelesninger og veiledning ble av avlyst, og all oppfølging under avslutningen av studiet ble nettbasert. Dette førte til en situasjon der en måtte benytte seg av digitale verktøy fremfor personlig kontakt, noe som har vært utfordrende og lærerikt.

I løpet av disse to årene ved NTNU har vi lært å fordype oss i ulike materialers egenskaper, samt dimensjonert i betong, tre og stål. Vi har også fordypet oss i mekanikk, en av konstruksjonsteknikkens viktigste element.

Oppgaven ble valgt ut fra kandidaten sin interesse for trekonstruksjon som et miljøvennlig materiale. Med bakgrunn i dette ønsket kandidaten å teste teorien gjennom laboratorietester. Retningslinjen for oppgaven ble utarbeidet i samarbeid med veileder, hvor hovedfokus har vært å studere hullkantfasthet ved å bruke gjengestenger i bartrevirke.

Kandidaten vil benytte muligheten å rette en stor takk til *Haris Stamatopoulos*, førsteamanuensis ved institutt for konstruksjonsteknikk, som har bistått gjennom hele prosessen med innspill og forslag til laboratoriearbeid og løsninger.

Kandidaten vil også takke forsker *Francesco Mirko Massaro* ved institutt for konstruksjonsteknikk, for gode innspill, forslag og råd under utformingen av oppgaven.

I tillegg rettes en takk til andre relevante personer som har bidratt til gjennomføringen av laboratorieforsøk. Spesielt til avdelingsingeniør *Terje Petersen* og ingeniør *Christian Frugone*, som jobber ved materialteknikk laboratoriet.

Terminologi

Prøvestykkene ble navnsatt i formen:

- $X_{i,j(k)}$
- $XD_{i,j(k)}$
- $Comp-X_{i,j(k)}$

X indikerer materialets navn, slik at X kan være P, S eller LV, og de står henholdsvis for Furu (pine), Gran (spruce) og Kerto Q (LVL). Den første indeksen, «i», er retning av påført last. Det vil si at «i» kan være 0 for lastpåføring i fiberretning eller 90 for lastpåføring i vinkelrett fiberretning. Neste indeks, «j», står for antall gjennomførte tester. Tredje indeksen står for nummerering av prøvestykkene.

For eksempel kan $P_{0,1(10)}$ forklares:

- Materialet som skal testes er furu (P = pine)
- Prøvestykkene vil testes i parallell med fiberretning («i» = 0)
- Det er første forsøk (j = 1)
- Prøvestykket har fått nummer 10 (k = 10)

Neste navnssettingsform på prøvestykkene er $XD_{i,j(k)}$. Bokstaven «D» står for dyble (Dowel), mens de andre indeksene «i», «j» og «k», har samme betydning som forklart i forrige avsnitt.

Siste navnssettingsform er $Comp-X_{i,j(k)}$. «Comp» står for trykk (compression), noe som vil si at de prøvestykkene som skal testes for trykkfasthet har slike navn. Resterende form, $X_{i,j(k)}$, har samme betydning som tidligere forklart.

Innholdsfortegnelse

SAMMENDRAG:	I
ABSTRACT	II
FORORD:	III
TERMINOLOGI	IV
FIGUR LISTE	3
TABELLISTE	5
FORKORTEELSE / SYMBOLER	6
1 INNLEDNING	7
1.1 BAKGRUNN	7
1.2 TEORI	10
1.2.1 KAPASITET.....	10
1.2.2 STIVHET.....	14
2 MATERIALER OG METODE	18
2.1 MATERIALER OG METODER	18
2.1.1 HULLKANT-TEST (EMBEDMENT TEST).....	18
2.1.2 KOMPRESJON OG DENSITETSTEST.	21
2.1.3 TREPUNKTS BØYNINGSTEST	24
3 RESULTAT OG DISKUSJON	26
3.1 HULLKANT-TEST (EMBEDMENT TEST)	26
3.1.1 REAKSJON AV HULLKANTFASTHET I PARALLELL MED FIBERRETNING.....	30
3.1.2 REAKSJON AV HULLKANT-TEST I VINKELRETT PÅ FIBERRETNING	32
3.1.3 KARAKTERISTISKE VERDIER FOR HULLKANTFASTHET	33
[MPA]	33
3.1.4 STIVHETSMODUL RESULTAT (K_{SER}).....	34
3.1.5 KORRELASJON MELLOM TETHET OG HULLKANTFASTHET.....	35
3.1.6 KORRELASJON MELLOM ANDRE PARAMETERER	36
3.2 RESULTAT FRA TRYKKFASTHETSTEST (KOMPRESJONSTEST)	39

3.3	RESULTAT FRA FLYTEMOMENTTEST.....	43
4	KONKLUSJON.....	45
4.1	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	46
	REFERANSER	47
	VEDLEGG LISTE.....	50
	VEDLEGG A	50
	VEDLEGG B	56
	MÅL, DIMENSJON OG RESULTAT AV HVERT ENKELT PRØVESTYKKE SOM BLE TESTET I HULLKANT-TESTSERIE.	56
	VEDLEGG C MÅL OG RESULTAT FRA TRYKKFASTHET TESTER	59
	PRØVESTYKKENES DIMENSJON OG RESULTAT AV PRØVESTYKKENE SOM BLE TESTET FOR TRYKKFASTHET. (PARALLELL MED FIBERRETNING).	59
	VEDLEGG D DENSITET.....	61
	VEDLEGG E LAST FORSKYVNINGSKURVE FOR INDIVIDUELLE TESTER	64
	LAST FORSKYVNINGSKURVER FOR HULLKANT-TESTER.....	64
	LAST FORSKYVNINGSKURVE I PARALLELL MED FIBERRETNING FOR FURU, OG DYBLE SOM FORBINDERE.	66
	LAST FORSKYVNINGSKURVE SERIEN MED GJENGESTENGER NORMAL PÅ FIBERRETNING, PRØVESTYKKENE BLE LAGET AV FURU.	67
	LAST FORSKYVNINGSKURVE SERIEN MED DYBLER NORMAL PÅ FIBERRETNING, PRØVESTYKKENE BLE LAGET AV FURU.....	69
	LAST FORSKYVNINGSKURVE SERIEN MED GJENGESTENGER PARALLELL MED FIBERRETNING, PRØVESTYKKENE BLE LAGET AV GRAN.....	70
	LAST FORSKYVNINGSKURVE SERIEN MED DYBLE PARALLELL MED FIBERRETNING, PRØVESTYKKENE BLE LAGET AV GRAN.....	72
	LAST FORSKYVNINGSKURVE SERIEN MED GJENGESTENGER VINKELRETT PÅ FIBERRETNING, PRØVESTYKKENE BLE LAGET AV GRAN.....	73
	LAST FORSKYVNINGSKURVE SERIEN MED DYBLE VINKELRETT PÅ FIBERRETNING, PRØVESTYKKENE BLE LAGET AV GRAN.	75
	LAST FORSKYVNINGSKURVE SERIEN MED GJENGESTENGER PARALLELL MED FIBERRETNING, PRØVESTYKKENE BLE LAGET AV LVL.	76
	VEDLEGG F DIGITALE VEDLEGG.....	79
	BILDER AV PRØVESTYKKENE OG TESTENE.....	79
	REGNEARK.....	79

Figur liste

Figur 1: Bruddformer	11
Figur 2: F er lasten som er påført, F_{ax} er dekomponert aksialkraft, F_v er dekomponerte tverrlast, γ er vinkelen mellom forbinde-rens akse og fiberretning, og α er vinkelen mellom last og fiberretning. De komponentene ble brukt i EC5. Bilde [22]	14
Figur 3: Forklaring på hvordan F -maks hentes i trykktester, vinkelrett på fiberretning. [NS408]	17
Figur 4: forklaring på kontaktarealet mellom kraft og prøvestykkene, og prøvestykkenes lengde, høyde og tykkelse for trykktestene. H_i og L_i er prøvestykkenes høyde henholdsvis for 90 og 0 grader.	17
Figur 5: Oppsett av eksperimentelle forsøk, høyre er parallell, venstre normal med fiberretning	18
Figur 6: Forklaring på indre (d_1) og ytre diameter (d)	19
Figur 7 : Dyble og gjengestenger som ble brukt i forsøkene	19
Figur 8: posisjon av kubene og prismene	21
Figur 9: konfigurering av trykkfasthetstest	22
Figur 10: illustrasjon av oppsettet for trykkfasthetstest	23
Figur 11: 3 punkts flytemomenttest, prinsippsskisse, illustrasjon av 3 punkts flytemomenttest, Forsøksoppsett	25
Figur 12: Resultat fra alle hullkant-tester, blå kurver er tester med dyble og røde kurver er tester med gjengestenger.	26
Figur 13: Forklaring for nødvendige data i eksperimentelle tester, prøvestykke LVL	27
Figur 14: Den vanligste bruddformen på hullkant-tester i parallell med fiberretning.	29
Figur 15: De mest observerte bruddformer i hullkant-tester vinkelrett på fiberretning.	29
Figur 16: Individuell regresjonslinje og varians for alle testserier med gjengestenger.	35
Figur 17: Plotting av hullkantfasthet mot tetthet med gjengestenger og dyble for parallell og vinkelrett på fiberretning.	36
Figur 18: Korrelasjon mellom hullkantstivhet og densitet, ved å bruke gjengestenger	37
Figur 19: Korrelasjon mellom densitet og hullkantstivhet for testserien med dyble.	37
Figur 20: Korrelasjon mellom stivhet og hullkantstyrke vinkelrett på fiberretning ved bruke av dyble som stav.	38
Figur 21: Korrelasjon mellom stivhet og hullkantfasthet	39
Figur 22: De mest vanlige bruddformene som oppstår under trykkfasthetstesten.	40
Figur 23: Korrelasjon mellom hullkantfasthet og trykkfasthet i testserien parallell og vinkelrett på fiberretning	41
Figur 24: Korrelasjon mellom hullkantfasthet og trykkfasthet i begge retninger	41
Figur 25: Kraftforskyvningskurve for alle materialer som ble testet i parallell (0) og vinkelrett (90) på fiberretning. Blå er kubene som testet med dyble og røde er kubene som testet med gjengestenger.	42
Figur 26: Kraftforskyvningskurve fra 3-punkts bøyningstest	44
Figur 27: Ståldelen for hullkantfasthet	50
Figur 28: LVDT holder av plastisk. den delen ble laget med 3D-printing	51
Figur 29: oppsetting av hullkantfasthet i parallell med fiberretning	52
Figur 30: Oppsett av hullkantfasthet, Parallell med fiberretning	53
Figur 31: oppsett av hullkantfasthet, vinkelrett på fiberretning	54
Figur 32: oppsett av hullkantfasthet, normal på fiberretning med målsetting	55
Figur 33: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning. Furu.	64

- Figur 34: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med gjengestenger. Test materialet er laget av furu. 65
- Figur 35: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med dyble . Prøvestykkene er laget av furu. 66
- Figur 36: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av furu. 67
- Figur 37: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av furu. Blå linjen indikerer på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [21] 68
- Figur 38: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning, der dybler ble brukt som forbindere. Prøvestykkene er laget av Furu. 69
- Figur 39: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk serie hullkantfasthet parallell med fiberretning, der er gjengestenger ble brukt som forbindere. Prøvestykkene er laget av Gran. 70
- Figur 40: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av gran. Blå linjen indikerer på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25] 71
- Figur 41: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med dybler. Prøvestykkene er laget av gran. Blå linjen i de 5 nederste figurene indiker på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25]. 72
- Figur 42: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet normal på fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av gran. 73
- Figur 43: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av gran. Blå linjen indikerer på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25] 74
- Figur 44: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet serien vinkelrett på fiberretning med dybler. Prøvestykkene er laget av gran. På de 5 nederste figurene indikerer den blå linjen på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25] 75
- Figur 45: Kraft-forskyvningskurve fra hullkantfasthet seire parallell med fiberretning, staven er gjengestenger. Prøvestykkene er laget av LVL. 76
- Figur 46: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av Kerto Q. Blå linjen indiker på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25]. 77
- Figur 47: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning med gjengestenger som stav. Prøvestykkene er laget av gran. Blå linjen indiker på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25]. 78

Tabbeliste

Tabell 1: Prøvestykkenes gjennomsnittlige dimensjon og antall tester i hver serie av hullkant-test.	20
Tabell 2: Oppsummering av materialene sin dimensjon og antall tester for trykktest.....	22
Tabell 3: Oppsummering av densitetstest	23
Tabell 4 :Lengde av forskjellige deler etter figur 12.....	24
Tabell 5: Oppsummering av resultater for eksperimentelle hullkant-tester med gjengestenger.	28
Tabell 6:oppsummering av resultater for eksperimentelle hullkant-tester med dyble	28
Tabell 7: Gjennomsnittlige resultat av hullkantfasthet med gjengestenger, og empiriske likning fra eurokode 5 i fiberretning.	31
Tabell 8:Gjennomsnittlige resultat av hullkantfasthet med dybler og empiriske likning fra eurokode 5 i fiberretning.	31
Tabell 9: Gjennomsnittlige resultat av karakteristisk hullkant-test med gjengestenger, og empiriske likning fra eurokode 5 i vinkelrett på fiberne.....	32
Tabell 10: Gjennomsnittlige resultat av karakteristisk hullkant-test med dybler, og empiriske likning fra eurokode 5 i vinkelrett på fiberne.	32
Tabell 11: oppsummering av karakteristiske verdier for hullkantfasthet, og deres forhold	33
Tabell 12: Oppsummeringsresultat fra stivhetsmodul	34
Tabell 13: Oppsummering av gjennomsnittlige trykkfasthetstest, stivhetsmodul og elastisitetsmodul.	40
Tabell 14: Dimensjon og resultat av alle gjengestenger som ble testet for bøyemoment.....	43
Tabell 15: Prøvestykkenes dimensjon, og verdiene ble beregnet fra testene.....	56
Tabell 16:Prøvestykkenes dimensjon og resultat i hullkantfasthet, som ble testet med dyble	57
Tabell 17: Prøvestykkenes dimensjon og resultats, som ble beregnet fra testene.....	59
Tabell 18: Prøvestykkenes dimensjon i trykkfasthet, og de verdiene ble beregnet fra testen.....	60
Tabell 19: Dimensjon, vekt og tetthet	61

Forkortelse / symboler

d : Utvendige gjengediameter; [mm]

d_1 : Indre gjengediameter; [mm]

l_{ef} : Effektiv lengde: den gjengede delens inntrengingsdybde; [mm]

$F_{ax,\alpha,Rk}$: Karakteristisk verdi på en forbindelse sin uttrekkskapasitet i en vinkel med fiberretning.

$F_{v,Rk}$: Karakteristisk bæreevne per skjærflate per forbindelse

$M_{y,Rk}$: Karakteristisk flytemoment for en forbindelse

f_{ax} : Karakteristisk uttrekksmotstand

ρ_k : Karakteristisk densitet

ρ_a : Tilknyttet densitet

ρ_m : Midlere densitet

$f_{c,90}$: Trykkfasthet vinkelrett på fiberretning

$f_{c,0}$: Trykkfasthet i fiberretning

$f_{u,k}$: Karakteristisk strekkfasthet for bolter

f_h : Hullkantfasthet

K_{ser} : Stivhetsmodul

K_h : Hullkantstivhet

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Tre er et byggemateriale som har lang historie i Norge. Tre er det mest brukte materialet til å bygge bolig med i Norden. Hele 98 % av alle småhus er bygget i tre [1]. I dag kan vi observere at tre som byggemateriale blir mer og mer populært i større bygg, eksempler på dette er Mjøstårnet (18 etasjer) i Brumunddal og Treet (14 etasjer) i Bergen.

Tre har mange fordeler som byggemateriale, for eksempel er det et materiale som vokser over hele landet, og derav er det lett tilgjengelig. Hvis en sammenlikner tre med andre byggematerialer, kan det trekkes frem at tre har god styrke i forhold til egenvekt. I tillegg har trekonstruksjoner ofte bedre inneklima og er mer miljøvennlige.

Ulempen med tre som byggemateriale er at det er et levende (anisotrop) materiale. Ved bruk av ubehandlet tre er det viktig å bemerke seg at et slikt materiale har dårlig motstandsevne mot fukt. Hvis trevirket trekker til seg fuktighet, vil styrken reduseres og trematerialet vil svulle eller krympe avhengig av fuktinnholdet.

Tre er ett av de materialene som er klassifisert som et brennbart materiale, men det kan oppfattes som et brannsikkert material. Tre danner en forkullingssone ved en brannsituasjon. Hvis det oppstår brann vil trevirke brenne seg fra utsiden og innover, og dermed vil den friske sonen i midten fortsatt bære vekten av konstruksjonen.

I de siste årene har byggekunst, håndverkstradisjon og forventninger utviklet seg. Tre har fått bedre anvendelse enn tidligere, gjennom nyere utvikling og tilegnet kunnskap om tre som materiale.

Menneskeskapt miljøforurensing er stadig på dagsordenen, og mange engasjerer seg i miljøutfordringene vi har i dag - og i fremtiden. Bygningsindustrien har stor påvirkning i dagens miljøforurensing, derfor er det stort behov for miljøvennlige materialer. Tre er det eneste fornybarmaterialet som vi kjenner til i byggeindustrien som har evne til å binde og lagre CO₂.

Liming og lamineringsteknikk har forbedret trevirket sin styrke og egenskap som byggemateriale. I dag kan det leveres limtrebjelker i mange ulike dimensjoner. Begrensingen for disse bjelkene er transport. Limtrebjelker har veldig gunstig forhold mellom egenvekt og styrke sammenlignet med betong og stål, derfor er limtre godt egnet for konstruksjoner med store spenninger. Limtre er et allsidig konstruksjonsmateriale, og det kan enkelt lages krummete konstruksjoner (skall, rammer, buer etc.). Tidligere studier viser at tømmerbruer med spenn på 100 - 120 meter har utmerket strukturelle egenskaper, og kan utformes for full trafikkbelastning [2].

Konkurranseskraften til tømmerstruktur styres i store grad av utformingen og effektiviteten av forbindelsene. Prefabrikking, produksjonskostnader og omfanget av arbeidskraft kan vende

trekonstruksjoner til et meget dyrt materiale. I slike situasjoner kan trekonstruksjoner utelukkes til fordel for andre mer rimelige materialer som stål og betong. Andre svakheter for trekonstruksjoner kan være lav stivhet i forbindelsene. Dette gjelder spesielt i bjelke-søyleforbindelser, fordi slike forbindelser har mindre rotasjonsstivhet. Lavstivhet i slike forbindelser resulterer i ineffektiv momentoverføring eller ekstra deformasjon i bjelken. Lavstivhet kan medføre uakseptable deformasjoner, og kan føre til ustabilitet eller ubehagelige bevegelser på grunn av horisontal last som vind eller vibrasjoner.

Uten momentstive forbindelser eller avstivning kan konstruksjonens stivhet bli kraftig redusert. I dag blir det ofte brukt såkalt x - avstivning for å lage momentstive konstruksjoner. Slike avstivninger har arkitektonisk begrensninger både for utseende og bruk av konstruksjonen.

Forbindelser er meget viktig for trekonstruksjonen sin bæreevne. En konstruktør skal vite hvordan hver enkelt forbindelse fungerer statisk, det vil si hvordan en overfører moment eller krefter. Forbindelser skal ha tilfredsstillende styrke, stivhet og bæreevne både i bruksgrensetilstand (SLS) og bruddsgrensetilstand (ULS) [3]. Bæreevnen og stivheten for de tradisjonelle forbindere som belastes normalt på deres akse er begrenset med trevirkets hullkantfasthet og trevirket sin stivhet. Ulempen med tradisjonelle forbindere (dybler og bolter) er initial stivhet på grunn av gapet mellom forbindere og forboret hull. I tillegg kreves lang tid for å montere slike forbindere på arbeidsplassen. Slike forbindere kan ikke ta opp aksiale krefter. Et godt alternativ for tradisjonelle forbindere kan være skruer, innlimte bolter eller gjengestenger. Slike forbindere har høy uttreknings- og stivhetskapasitet. De kan fordele spenningen over den inntrengte lengden i treet, og dermed kan de bidra til å utvikle sterkere og stivere forbindelser.

Limte forbindelser er relativt enkelt og har lave kostnader, i tillegg er innlimte forbindelser ofte skjult (estetikk) og de har gode brannegenskaper. Vi må være oppmerksomme på at slike forbindelser kan være vanskelig å kontrollere, siden den innlimte forbindelsen kan være overflødig og ryker plutselig (sprøbrudd) [4]. Hvis limingsprosessen gjøres i et miljø med høy temperatur, vil den kjemiske prosessen mellom lim og tre skape svikt i både kapasiteten og stivheten i forbindelsen [5]. Selvborende skruer eller gjengestenger kan være et godt alternativ for forbindelser med innlimte bolter eller dybler. Slike skruer kan kjøpes med lengder opptil en meter, og en ytre diameter på 12 mm i vanlige butikker. Gjengestenger kan skaffes med diameter fra 16 - 24 mm i ubegrenset lengde. Det mest interessante med gjengestenger og selvborende skruer er deres aksialkapasitet. I prinsippet kan en benytte gjengestenger for å oppnå en momentstiv forbindelse. Denne påstanden er bekreftet ved mange tester og forskningsresultater [6] [7].

Aksialbelastede forbindelser som har liten helning med fiberretning er utsatt for splitting. Splitting kan også skje på grunn av stor påkjenning av belastning normalt på fiberretning. Det ble gjennomført

noen tester som indikerer at aksialkapasiteten til en stang, som plasseres parallell med fiberretning, reduseres betraktelig over tid [4]. Dagens versjon av Eurokode 5 (EC5) [8] har begrensning for aksialt belastede skruer eller gjengestenger. EC5 krever at vinkelen mellom stangen og fiberretning ikke skal være mindre eller lik $30^0(\alpha \geq 30^0)$. Denne begrensningen fører til mangel på retningslinjer for styrkeoverføring av selvboringsskrue og gjengestenger, som ble inntrengt i bjelken med liten inklinasjon. Forbindelsens duktilitet er mest avgjørende i en konstruksjon [3]. Duktilitet i en forbindelse kan oppnås ved å bruke kapasitetsdesign [9].

I nåværende EC5 [8] finnes det ikke noen regler for å dimensjonere uttrekningskapasitet for aksialbelastede skruer eller gjengestenger, men det viser seg at uttrekningskapasiteten er en viktig parameter for stive forbindelser. [9] [10].

I «European Technical Approval» kan en finne regler for å dimensjonere aksialbelastede selvborende skruer med diameter opptil 14 mm [11] [12]. Det mangler retningslinjer for å dimensjonere aksialbelastede skruer eller gjengestenger med ytre diameter over 14 mm. Resultatet fra tilgjengelig forskning på internett er begrenset, der relativt korte gjengestenger inntrengt enten parallelt eller normalt på fiberretning er brukt som grunnlag [13] [14]. Det finnes annen forskning for lange gjengestenger inntrengt i limtre for å finne momentstive forbindelser [15]. Blaß og Krüger har gjennomført eksperimentelle forsøk for hullkantfasthet med gjengestenger med lengde 200 mm og 400 mm. Disse forsøkene ble gjennomført i to forskjellige vinkler $\alpha = 45^0$ og $\alpha = 90^0$ [16]. EC5 [8] gir ingen veiledning for å fordele spenning og forskyvning. For å oppnå høy kapasitet og stive forbindelse kan et par aksialbelastede gjengestenger være tilstrekkelig. Men ved bruk av aksialbelastede gjengestenger eller dybler kan det oppstå andre typer feil, som blokk eller pluggsskjærbrudd. For å unngå slike feil eller brudd har EC5 satt opp minimum avstand mellom skruer, ved den forutsetning at trevirket sin tykkelse skal være mer enn 12 d. Denne tykkelsen ved bruk av gjengestenger med stor diameter kan være for liten for å oppnå ønsket styrke i konstruksjonen, og derfor bør den undersøkes.

Som tidligere nevnt er nåværende designkode (EC5) mangelfull når det gjelder informasjon om dimensjonering av bartrevirke ved bruk av gjengestenger. Derfor valgte kandidaten og undersøke hullkantfasthet og stivhet av bartrevirke ved bruk av gjengestenger.

1.2 Teori

1.2.1 Kapasitet

1.2.1.1 Aksial kapasitet

Eurokode 5 [8] har definert karakteristisk uttrekningskapasitet i (8.8.2) for en skrue. En forutsetning for denne likningen er at skruen bør ha en ytre diameter $6 < d < 12$; $0,6 \leq (d_1 / d) \leq 0,75$ og vinkelen mellom skruaksen og fiberretning må være større enn 30° ($\gamma \geq 30^\circ$).

$$F_{ax,\gamma,Rk} = \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma} \quad (1)$$

d er gjengestangen sin ytre diameter, d_1 er gjengestangen sin kjernediameter, $F_{ax,\gamma,Rk}$ er karakteristisk uttrekkskapasitet til forbindelsen med vinkel γ på fiberretningen, og $f_{ax,k}$ er den karakteristiske uttrekkskapasiteten normal på fiberretningen, som definert ved likning:

$$f_{ax,k} = 0,52 \cdot d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8} \quad (2)$$

$$k_d = \min\left(\frac{d}{8}, 1,0\right) \quad (3)$$

Hvis de kravene gitt i (1) ikke er oppfylt, forutsettes det at karakterisk uttrekningskapasitet $F_{ax,\gamma,Rk}$ er:

$$F_{ax,\gamma,Rk} = \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1,2 \cdot \cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma} \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0,8} \quad (4)$$

$f_{ax,k}$ bestemmes i samsvar med NS-EN 14592 [17] for tilhørende densitet ρ_a i $[\text{kg}/\text{m}^3]$, slik at uttrekningskapasiteten bestemmes ved eksperimentelle forsøk. Denne formelen er nesten ikke blitt brukt i næringslivet, derfor kan vi si at den er nesten ubrukelig.

Uttrekningskapasiteten for gjengestenger er ofte spesifisert i produsenten sin veiledning (Technical Approval). En av de produsentene, SFS WB [18], har definert uttrekningskapasiteten slik:

$$F_{ax,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \cdot d \cdot l_{ef} \quad (5)$$

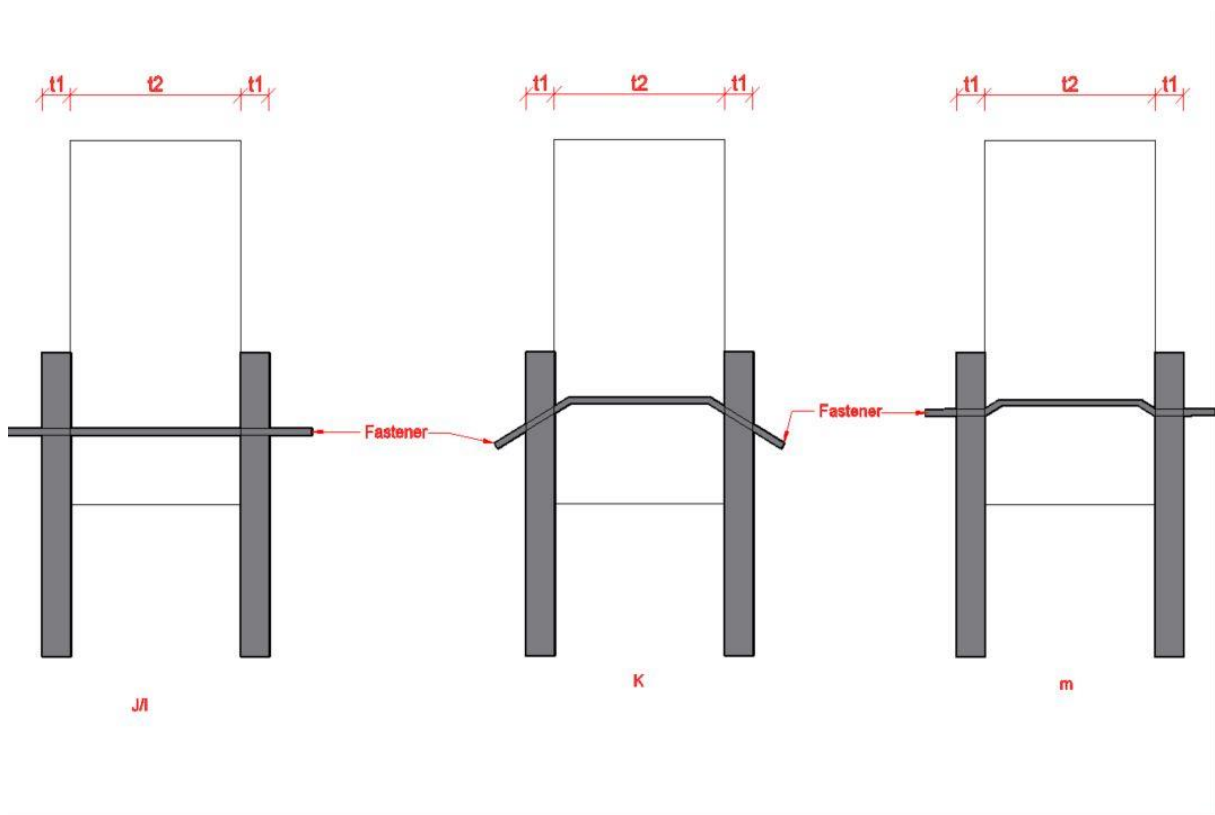
$F_{ax,k}$ er karakteristisk uttrekningskapasitet

- $f_{ax,k}$ er karakteristisk uttrekningskapasitet vinkelrett på fiberretning
- ρ_k trevirket karakteristiske densitet [kg/m^3]
- d gjengestangen sin ytre diameter
- d_1 kjernediameter av gjengestangen eller skruen
- l_{ef} lengden av gjengestangen, som er inntrengt i trevirke

1.2.1.2 Lateral Kapasitet

Ved inspirasjon av European Yield Model [19] har nåværende Eurokode 5 [8] definert likninger for å beregne tverkapasitet for forbindere per skjær plan. De likningene er avhengige av forventende bruddformer. Bruddformen er aktuell i det eksperimentelle arbeidet vist som bruddform J/l på figur 1 under. Slike bruddformer kan beregnes og hindres ved hjelp av likningen:

$$F_{v,RK} = 0,5 \cdot f_{h,k} \cdot t_2 \cdot d_{ef} \quad (6)$$



Figur 1: Bruddformer

Bruddformen K og m kan også forventes, som er vist i figur 1. Disse bruddformene kan beregnes ved hjelp av følgende likninger:

$$F_{v,Rk} = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d_{ef}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (7)$$

$$F_{v,Rk} = 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d_{ef}} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (8)$$

d_{ef} er skruen sin effektive diameter, og for gjengestangen er den effektive diameteren beregnet ved $d_{ef} = 1,1 \cdot d_1$.

$f_{h,k}$ er karakteristisk hullkantfasthet i fiberretning, $F_{ax,k}$ er bidraget fra den såkalte tau-effekten (rope effect) og den begrenses med 100 % etter veiledningen fra EC5 [8]. $M_{y,Rk}$ er karakteristisk verdi for flytemoment, som kan beregnes ved:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d_{ef}^{2,6} \quad (9)$$

Den karakteristiske hullkantfastheten $f_{h,\alpha,k}$ er definert i EC5 [8] med likning:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,082(1 - 0,01 \cdot d_{ef}) \cdot \rho_k}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (10)$$

Der

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 \cdot d_{ef} & \text{For bartrevirke} \\ 1,30 + 0,015 \cdot d_{ef} & \text{For Parallellfiner} \\ 0,90 + 0,015 \cdot d_{ef} & \text{For hardved} \end{cases} \quad (11)$$

α er vinkelen mellom last og fiberretning, ρ_k er trevirkets karakteristiske densitet, og $d_{ef} = 1,1 \cdot d_1$.

European Technical Approval [11] definerer hullkantfasthet for gjengestenger, som trenger forboring ved likning:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,082(1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k}{(k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) \cdot (2,5 \cdot \cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma)} \quad (12)$$

Der γ er vinkelen mellom forbinderens sin akse og fiberretningen, α er vinkelen mellom last og fiberretning, og ρ_k er trevirket sin karakteristiske densitet.

EN 383:2007 [20] og ISO 10984-2 [21] definerer hullkantfasthet for eksperimentelle tester ved hjelp av likningen:

$$f_h = \frac{F_{max}}{d \cdot t} \quad (13)$$

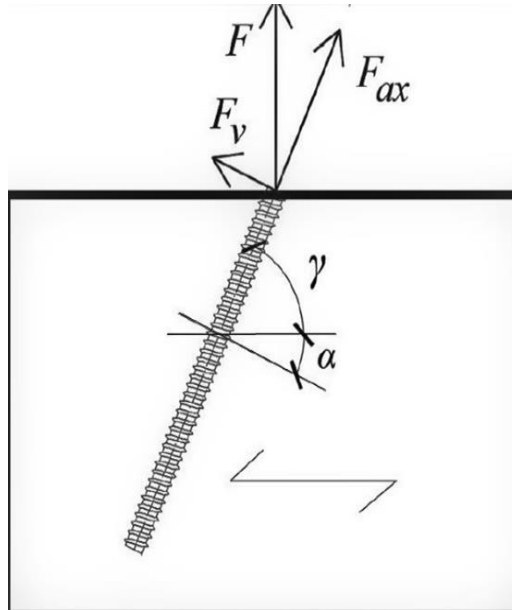
F_{max} er maksimal trykklaster som ble påført prøvestykket i newton [N]. F_{maks} beregnes ved å forskyve stivhetsmodul linjen med 5 % av forbindelsen sin kjernediameter. Krysspunktet mellom forskjøvet linje og lastdeformasjonskurve kalles F_{max} . d er forbinderens sin indre diameter i millimeter [mm], og t er prøvestykket tykkelse i millimeter [mm].

1.2.1.3 Kombinert last på tvers og aksial

Forbindelser som er utsatt for en kombinasjon av aksialt last, $F_{ax,Ed}$, og tverrlast $F_{v,Ed}$, skal dimensjoneres ved likning 14, etter anbefaling fra EC5 [8].

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (14)$$

$F_{ax,Rd}$ og $F_{v,Rd}$ er de dimensjonerende kapasitetene til forbindelsen belastet med kombinert aksial og tverrlast. Se figur 2.



Figur 2: F er lasten som er påført, F_{ax} er dekomponert aksialkraft, F_v er dekomponerte tverrlast, γ er vinkelen mellom forbinde-rens akse og fiberretning, og α er vinkelen mellom last og fiberretning. De komponentene ble brukt i EC5. Bilde [22]

1.2.2 Stivhet

1.2.2.1 Aksial stivhet

Ved inspirasjon av Volkersen sin teori [22] kan det beregnes aksiale uttrekningskapasitet for gjengestenger. Denne teorien ble brukt av Stamatopoulos og Malo [23], og Cepelka [24] i sin forskning for tverrbelastede gjengestenger.

Aksial uttrekningsstivhet ($K_{ser,ax}$) er hverken definert i EC5 [8] eller i European Technical Approval [18]. Det kan finnes noen uttrykk for aksial uttrekningsstivhet ($K_{ser,ax}$) for selvborende skruer i European Technical Approval, men disse uttrykkene kan ikke brukes ut i fra deres definerte område. [25] [24]. Eksempel for de er:

ETA-12/0114 [11] har definert aksial stivhetsmodul ($K_{ser,ax}$) for gjengestenger uavhengig av vinkler ($0 \leq \alpha \leq 90$) for mykt trevirke:

$$K_{ser,ax} = 780 \cdot l^{0,4} \cdot d^{0,2} \quad (15)$$

Og vi kan finne en annen linking i andre European Technical Approval, Z-9.1-472 [26], for selvborende skruer inntil 13 mm ($d \leq 13$). Z-9.1-472 [26].

$$K_{ser,ax} = 25 \cdot l \cdot d \quad (16)$$

Finite element metode (analytical modell) og eksperimentelle resultater fra en studie [23] viser at stivhetsmodulen K_{ser} er ikke en lineær funksjon av den inntrengte lenden l .

Som er nevnt tidligere er stivhetsmodulen K_{ser} avhengige av vinkelen α (vinkel mellom forbindere og fiberretning) og trevirket sine egenskaper.

1.2.2.2 Tverrstivhet

Per i dag finnes det ikke så mange studier angående tverrstivhet for lange gjengestenger [15]. EC5 [8] har definerte stivhetsmodulen K_{ser} per skjærflate per forbindelse under brukt grensetilstand, slik at operasjonen gjelder for forbindere i tre mot tre, og platematerialer som stål og betong mot tre. Typen av forbindelsesmidler bør være dybler, bolter med eller uten klaring, skruer og spikre med forboring. Eurokode 5 [8] definerer stivhetsmodulen K_{ser} ved likning:

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d}{23} \quad (17)$$

EC5 [8] har ikke begrenset forbinde diameter i likning (17). Det finnes heller ikke nok informasjon om hvilken diameter (kjernediameter, ytre diameter eller effektiv diameter) av forbinde som skal brukes. Likning 17 skal multipliseres med to, hvis trevirket kombineres med stål eller betong i en forbindelse, og ρ_m baseres for tredelen. Det vil si at likning 17 kommer til:

$$K_{ser} = 2 \cdot \rho_m^{1,5} \cdot \frac{d_{ef}}{23} \quad (18)$$

Likning 17 og 18 tar ikke hensyn til andre delfaktorer som kan påvirke forbindelsen sin stivhet. Noen eksempler på de faktorene kan være legden av forbindere som inntrengt i trevirke, eller vinkelen mellom forbindere - akse og fiberretning.

Stivhetsmodulen i eksperimentelle forsøke kan beregnes ved likning:

$$K_{ser} = \frac{0,4 \cdot F_{max} - 0,1 \cdot F_{max}}{w_{0,4} - w_{0,1}} \quad (19)$$

Hvor $w_{0,4}$ og $w_{0,1}$ er henholdsvis forskyving etter 40 % og 10 % av maksimum påført last.

1.2.2.2 Trykkfasthet og Elastisitet

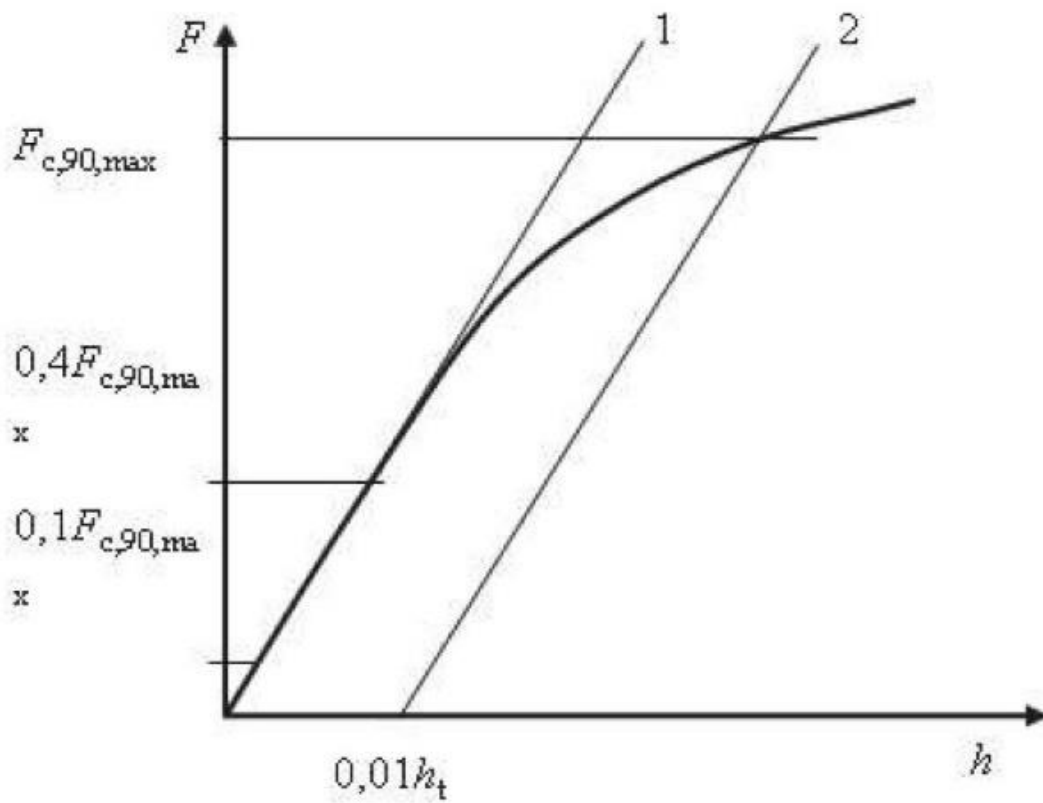
Det har blitt presentert forskjellige måter en kan finne trykkfasthet vinkelrett på fiberretningen for trevirke. Noen av disse metodene har analytisk bakgrunn, mens andre bruker mer empirisk tilnærming.

Mange faktorer kan påvirke kompresjonskapasiteten for et materiale som tre. Påvirkende faktorer kan være arealet som blir belastet, eller retningen på lasten. Trevirke er som tidligere nevnt et anisotropisk materiale, dette betyr at trevirke er sterkere i longitudinal direksjon enn radial og tangential direksjon. Derfor er det laget en standard for å beregne trykkfasthet for trevirke. EN 408 [27] har satt opp fast prosedyre for å beregne trykkfasthet og elastisitetsmodul for trevirke. EN 408 [27] foreslår disse likningene for å beregne trykkfasthet og elastisitetsmodul for trevirke:

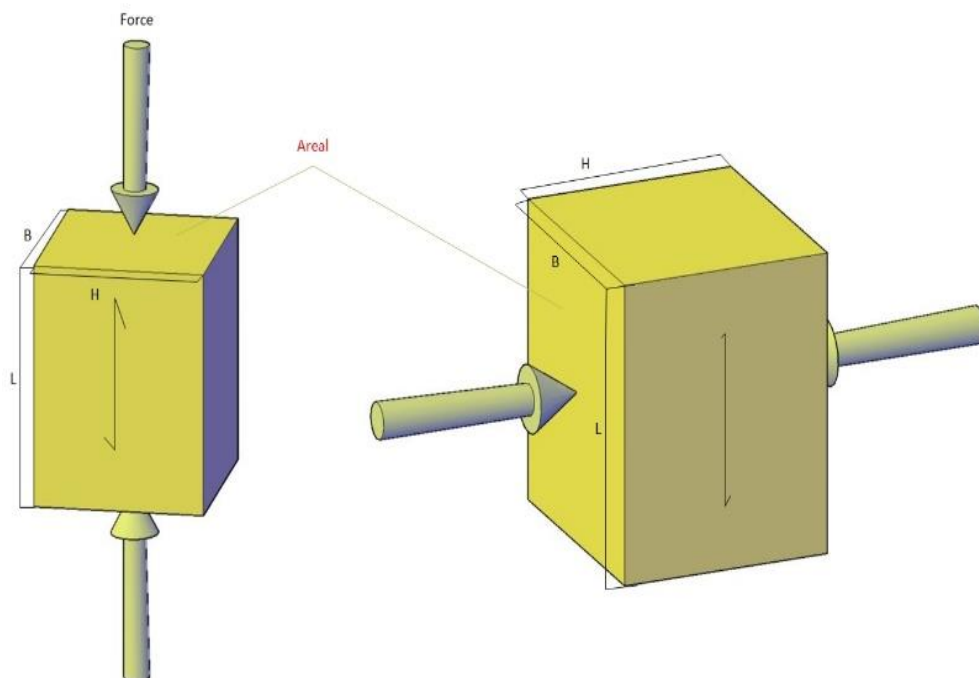
$$f_{c,90} = \frac{F_{c,90,max}}{b \cdot l} \quad (20)$$

$$E_{c,90} = \frac{(F_{40} - F_{10}) \cdot h_0}{(w_{40} - w_{10}) \cdot b \cdot l} \quad (21)$$

Likning 20 og 21 gjelder også for parallell med fiberretning. $F_{c,90,max}$ beregnes ved å forskyve stivhetsmodullinjen, eller elastikkmodulen, med 1 % av prøvestykkenes høyde. Skjærpunktet mellom last-forskyvningskurven og forskjøvet linjen er $F_{c,90,max}$. F_{40} og F_{10} er henholdsvis 40 % og 10 % av estimerte påført last. w_{40} og w_{10} er henholdsvis forskyvning av 40 % og 10 % av beregnet lasten. Figur 3 viser hvordan en kan peke ut $F_{c,90,max}$. Denne figuren gjelder ikke for trykkfasthet parallell med fiberretning. I tester parallell med fiberretning er det enkelt å finne ut maksimum kraft.



Figur 3: Forklaring på hvordan F -maks hentes i trykktester, vinkelrett på fiberretning. [NS408]



Figur 4: forklaring på kontaktarealet mellom kraft og prøvestykkene, og prøvestykkenes lengde, høyde og tykkelse for trykktestene. H_i og L_i er prøvestykkenes høyde henholdsvis for 90 og 0 grader.

2 Materialer og metode

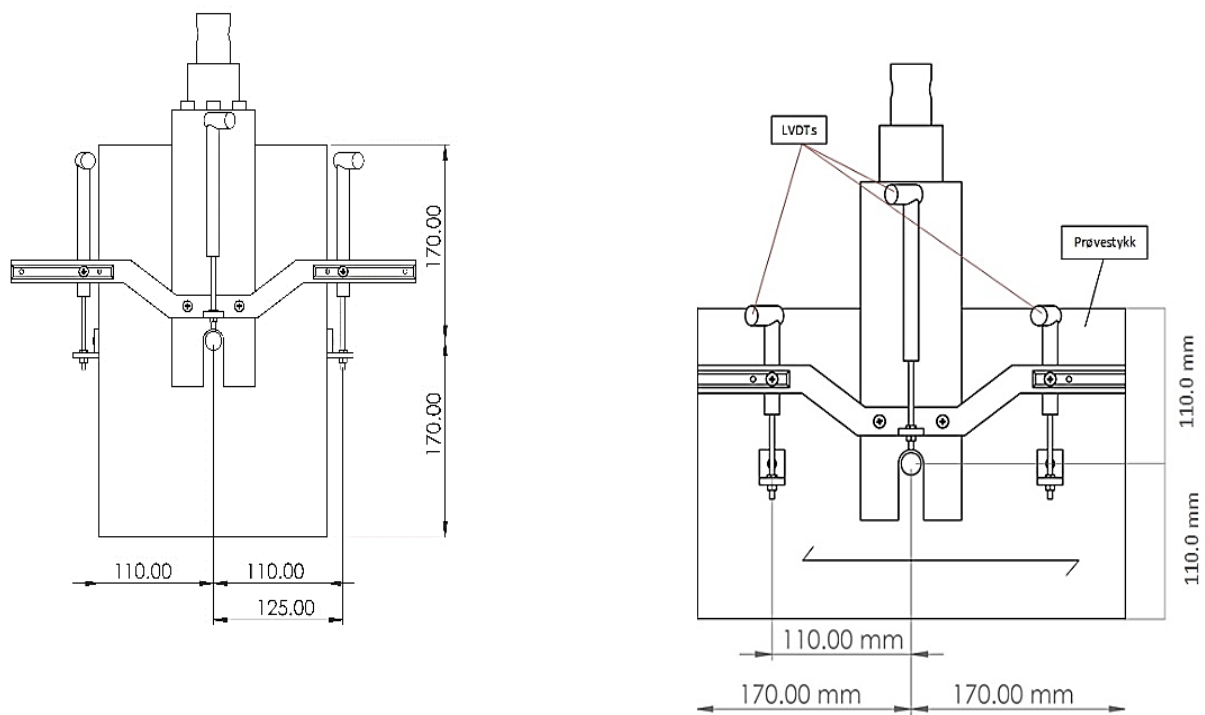
2.1 Materialer og metoder

2.1.1 Hullkant-test (Embedment test)

I denne delen av oppgaven presenteres oppsett av eksperimentelle tester og hvordan materialene ble testet.

Alle testene ble gjennomført i laboratorium for konstruksjonsteknikk ved Norges tekniske universitet i Trondheim.

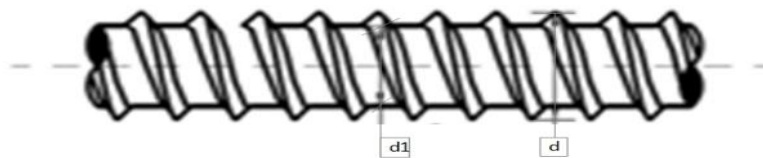
Målinger ble logget ved hjelp av programvaren «Catman». Lastpåføring ble utført med «INSTRON maskin modell 5982» med maksimal lastekapasitet opp til 100KN. Maskinen er i stand til å måle både påførte last og deformasjon med en nøyaktighet på 1 %. Hullkant (Embedment) testene ble gjennomført som dobbelskjærplan med konstant forskyvning på 2,5 og 5 mm/min henholdsvis parallell og vinkelrett på fiberretning. Lastpåføringen var monotonikk i alle testene. Testene ble gjennomført i henhold til EN 303:2007 [20], men i lastpåføringen fulgte vi den alternative modellen fra ISO10984:2 [21]. Figur 5 viser en illustrasjon av testenens oppsett.



Figur 5: Oppsett av eksperimentelle forsøk, høyre er parallell, venstre normal med fiberretning

Forskyvningen ble overvåket med tre LVDT - er (linear variable differential transducers) på hver side av prøvestykkene, som er vist på figur 5. Det vil si at totalt seks LVDT - er ble brukt for å registrere forskyvning i hvert forsøk. Dataene ble overført til PC ved hjelp av Max840B.

Gjengestangen som ble brukt i denne undersøkelsen har en ytre diameter på $d = 22,0$ mm og en indre diameter på $d_1 = 16,1$ mm, med en lengde på to meter oppover. Gjengestangen ble kappet til små deler på 110 mm. 30 mm av gjengen fra enden på begge side ble glattet til $d_1=16,1$, og deretter gjenget på nytt for å se effekten av endegjengen på testene. Gjenstående del med diameter på 22 millimeter som ble inntrengt i prøvestykkene har en lengde på cirka 40 mm. Dyblen ble brukt for å sammenlikne resultatet hadde en diameter på $d = 16,1$ millimeter. Figur 7 viser noen eksempler på gjengestenger og dybler som ble brukt i dette eksperimentelle forsøket.



Figur 6: Forklaring på indre (d_1) og ytre diameter (d)



Figur 7 : Dyble og gjengestenger som ble brukt i forsøkene

Prøvestykkene har hatt en dimensjon på ca. $340 \times 220 \times 40$ (L x B x T) i form av et prisme. Disse tallene samsvarer med $15,45 d \times 20 d \times 1,8 d$, hvor d er gjengestangen sin ytre diameter. Disse målene oppfyller kravene fra NS-EN 383 [20]. Prøvestykkenes mål og dimensjoner finnes i vedlegg B.

I dette studiet var hovedfokuset rettet mot bartrevirke, derfor ble furu, gran og Kerto Q (LVL) testet. Prøvestykkene hadde omtrent samme dimensjon. Prøvestykkene fra Furu (pine) ble laget av en limtrebjelke type GL30C, og prøvestykkene av gran ble laget av to limtrebjelker med kvalitet GL30C [28]. Bjelkene ble levert av Moelven AS, og produsert av norske gran (*Picea abies*). De to ytterste lamellene av granlimtreet ble saget bort, siden bjelken var kombinert. Prøvestykkene ble laget av de fem innerste lamellene, siden de innerste delene har dårligere kvalitet. Dette valget er tatt på grunn av anbefalinger fra EN383 [20]. Metsä Wood [29] var produksjonsfabrikken av Kerto Q eller LVL platen, som hadde dimensjon på 2250 x 1000 x 43 mm³ [29]. Platen ble delt i prøvestykker med gjennomsnittlig dimensjon på L x B x T = 330,6 x 220 x 43 mm³.

Tabell 1 oppsummerer prøvestykkenes gjennomsnittlige dimensjon og antall gjennomførte tester i hver serie.

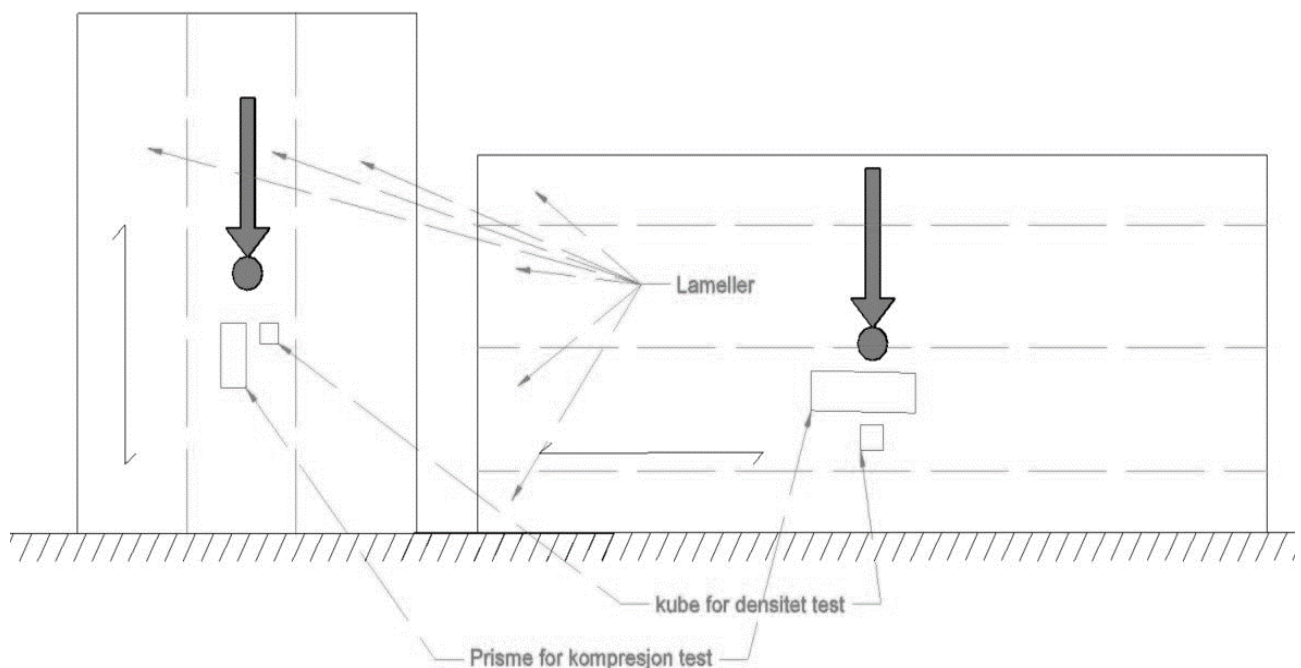
Tabell 1: Prøvestykkenes gjennomsnittlige dimensjon og antall tester i hver serie av hullkant-test.

Materiale	Fiberring	Testet med Gjengesteng	Testet med dyble	Lengde [mm]		Bredde [mm]		Tykkelse [mm]	
				Gjengesteng	Dyble	Gjengesteng	Dyble	Gjengesteng	Dyble
				Gj.snitt	Gj.snitt	Gj.snitt	Gj.snitt	Gj.snitt	Gj.snitt
Furu	Parallell (0°)	10	5	339,99	343,17	212,07	212,56	38,82	38,24
	Vinkelrett (90°)	10	5	338,76	342,02	212,46	212,65	39,39	38,94
Gran	Parallell (0°)	10	5	339,44	339,56	219,26	219,15	39,50	39,74
	Vinkelrett (90°)	10	6	339,61	339,53	219,07	219,19	39,42	39,51
LVL / Kerto	Parallell (0°)	10	5	330,27	331,51	220,14	219,51	42,19	42,27
	Vinkelrett (90°)	10	5	330,66	330,24	220,01	220,23	42,27	42,33

Materialene ble bevart og akklimatisert i et klimarom ved standard temperatur 20°C og relativ fuktighet på 65 % i mer enn to måneder. Klimatiseringen gir et fuktinnhold i treet på Ca. 12 %.

2.1.2 Kompresjon og densitetstest.

Prismene for kompresjon, og kubene for densitetstest ble laget av samme prøvestykke og lamell som ble brukt for hullkantfasthet. Figur 8 viser omtrent hvor prismene og kubene er saget fra. Prøvestykkene for densitetstest ble laget etter internasjonal standard ISO 13061-1 [30], mens NS-EN 408 [27] ble brukt for trykkfasthetstest. Gjennomsnittlige mål for hver kube og prisme er gitt i vedlegg C og D. I tabell 2 finnes oppsummering av dimensjonen for kubene i trykkfasthetstestene. «INSTRON maskin modell 5982» ble benyttet for å påføre last til kompresjonstestene. Maskinen

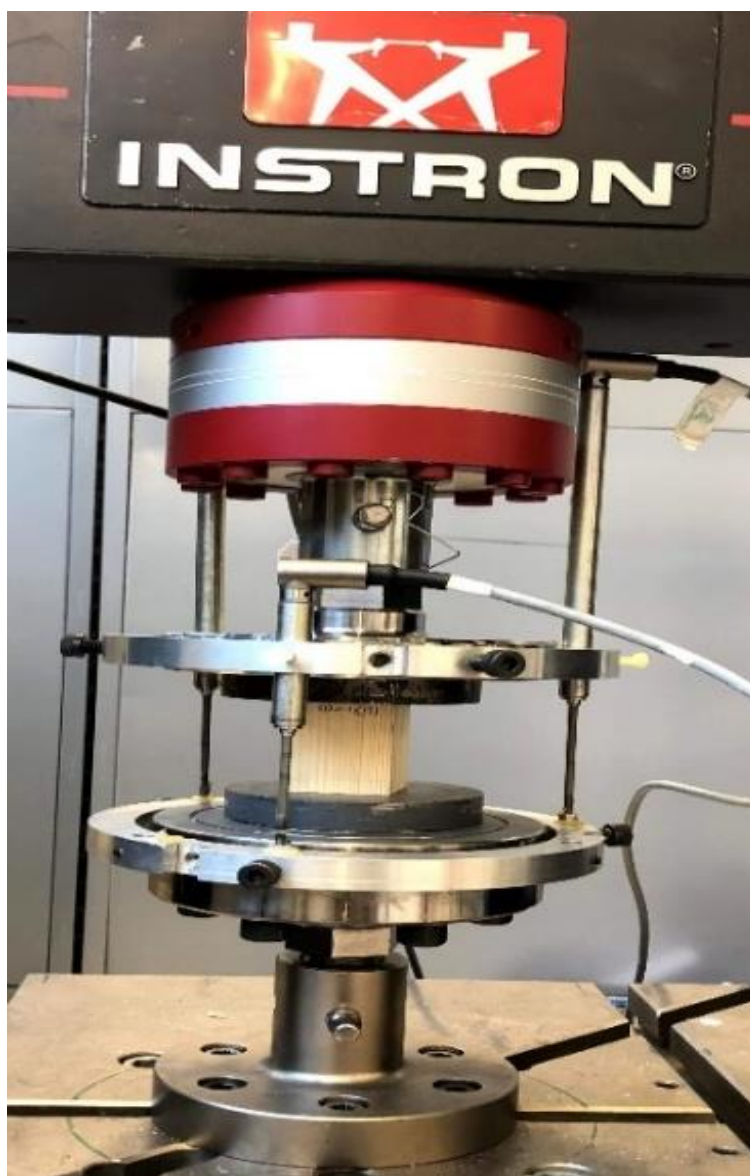


Figur 8: posisjon av kubene og prismene

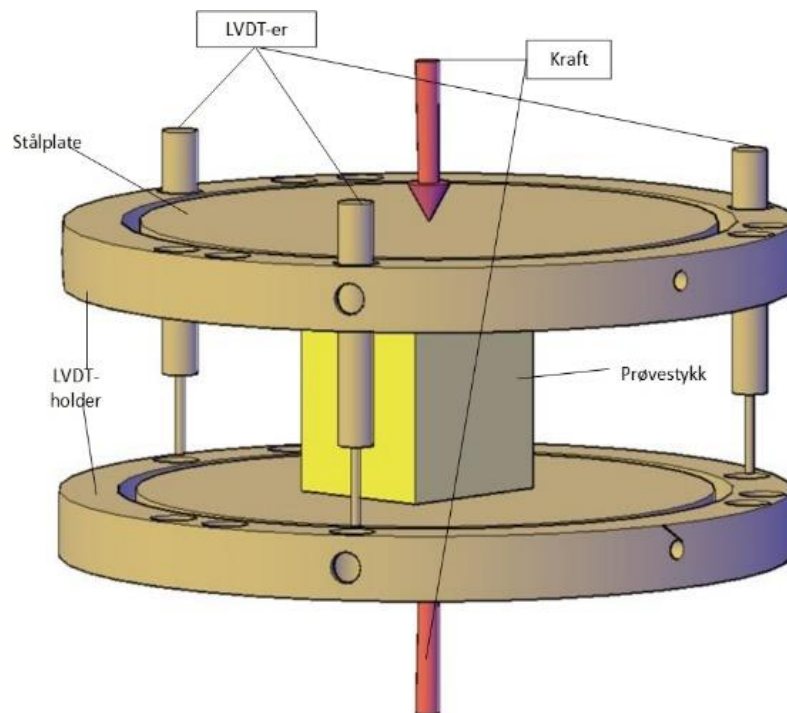
har maks kapasitet på 100 KN. Forskyvningen ble overvåket av tre LVDT - er. Figur 9 viser forsøksoppsettet og Figur 10 viser prinsippskisse. Prøvestykkene ble forskjøvet med en konstant forskyvning på 2,5 mm/min i parallell med fiberretning, og 5 mm/min for vinkelrett på fiberretning. Disse forskyvningstallene for trykkfasthetstesten er de samme tallene som ble brukt for hullkanttestene.

Tabell 2: Oppsummering av materialene sin dimensjon og antall tester for trykktest

Materiale	Antall	L [mm]	B [mm]	H [mm]
		Gjennomsnitt	Gjennomsnitt	Gjennomsnitt
Furu parallell (0)	15	49,77	40,33	39,19
Furu vinkelrett (90)	15	50,37	44,33	39,37
Gran parallell (0)	15	50,21	45,09	39,28
Gran vinkelrett (90)	16	50,56	40,82	39,6
LVL parallell (0)	15	49,31	39,97	42,33
LVL vinkelrett (90)	15	50,76	44,67	40,47



Figur 9: konfigurering av trykkfasthetstest



Figur 10: illustrasjon av oppsettet for trykkfasthetstest

Det ble sagt to kuber av hver lamell for densitetsprøve. Kubene har en dimensjon på $20 \times 20 \times 25 \pm 5$ etter ISO 13061:1 [30] anbefaling. De små kubene skal ha minimum fem årringer, hvis ikke bølglengden forlenges på en side for å skaffe fem årringer. Etter at kubene ble sagt ut, ble de plassert på klimarommet for akklimering. Etter ett døgn ble de målt med digital målestokk som hadde nøyaktighet på 0,01 mm, og deretter ble de veid med digital vekt med nøyaktighet 0,001 gram. Tabell 3 viser oppsummert resultat fra densitetstest.

Tabell 3: Oppsummering av densitetstest

Materiale type	Antall	L	B	H	Gj.Snitt Mass (A)	Gj.Snitt Mass (B)
		[mm]	[mm]	[mm]	[gram]	[gram]
		Gj.snitt	Gj.snitt	Gj.snitt	Gj.snitt	Gj.snitt
Furu	60	22,5	20,6	22,86	4,8	4,7
Gran	62	25,5	21,8	22,07	4,9	4,9
LVL	60	22,4	20,2	20,33	4,7	4,7

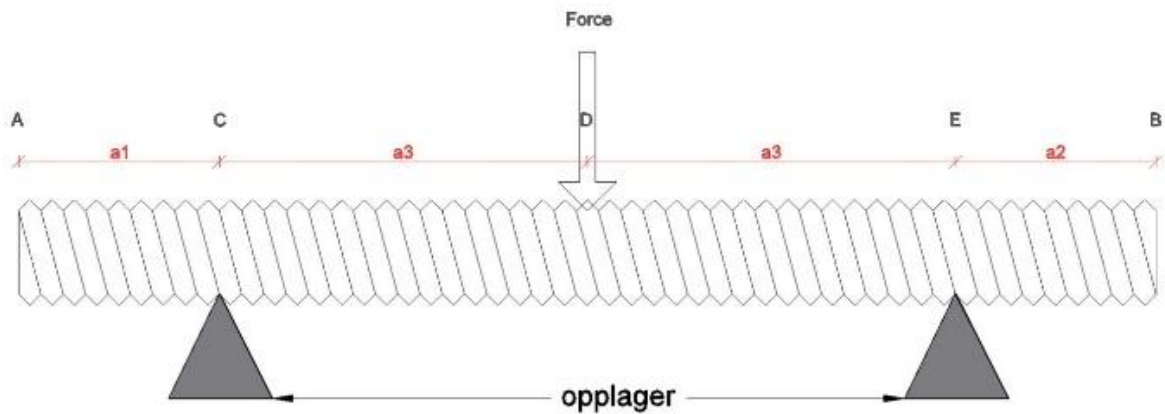
2.1.3 Trepunkts bøyningstest

Gjengestangen var hovedforbinder i denne forskningsoppgaven. For å være sikker på forbindelseegenskapene ble det tatt trepunkts flytemoment-test etter ISO 10984-1 [21]. Testene ble gjennomført ved hjelp av samme INSTRON maskin som tidligere nevnt. Disse testene er tatt for å minimalisere effekten av stavens bøyning i hullkant-testen. Kraften var påsatt vinkelrett på gjengestangen. Nedbøyningen ble overvåket ved hjelp av to LVDT-er. LVDT-ene hadde en nøyaktighet på 0,001 millimeter. Illustrasjon og oppsett av forsøket er vist i figur 11. Totalt 15 tester ble gjennomført. Ti av de gjengestengene ble bestilt fra Kina via internett, materialets kvalitet måtte derfor kvalitetssjekkes. De resterende fem gjengestengene hadde kvalitet 8.8. Gjengestengenes ytre diameter var 22 mm, med indre diameter 16,1 mm. Prøvestykkene fra Kina hadde gjennomsnittlig lengde på 215 mm, og avstandene mellom de to opplagrede kraftene var konstant. Lengden mellom opplagrene var 160 mm for begge typer av gjengestengene.

I tabell 4 finnes mer informasjon om prøvestykkenes lengde. Test nummer 1 hadde en konstant forskyvning på en mm/min, og resten av de testene hadde konstant forskyvning på 2 mm/min.

Tabell 4 :Lengde av forskjellige deler etter figur 12

Prøvestykke	AB [mm]	AC [mm]	EB [mm]	CE(L)[mm]
Type 1-1	215	26	29	160
Type 1-2	216	27	29	160
Type 1-3	212	28	24	160
Type 1-4	216	26	30	160
Type 1-5	210	24	26	160
Type 1-6	213	26	27	160
Type 1-7	216	25	31	160
Type 1-8	216	27	29	160
Type 1-9	216	26	29	160
Type 1-10	218	30	28	160
Type 2-1	240	41	39	160
Type 2-2	241	39	42	160
Type 2-3	240	40	40	160
Type 2-4	239	38	41	160
Type 2-5	240	41	39	160

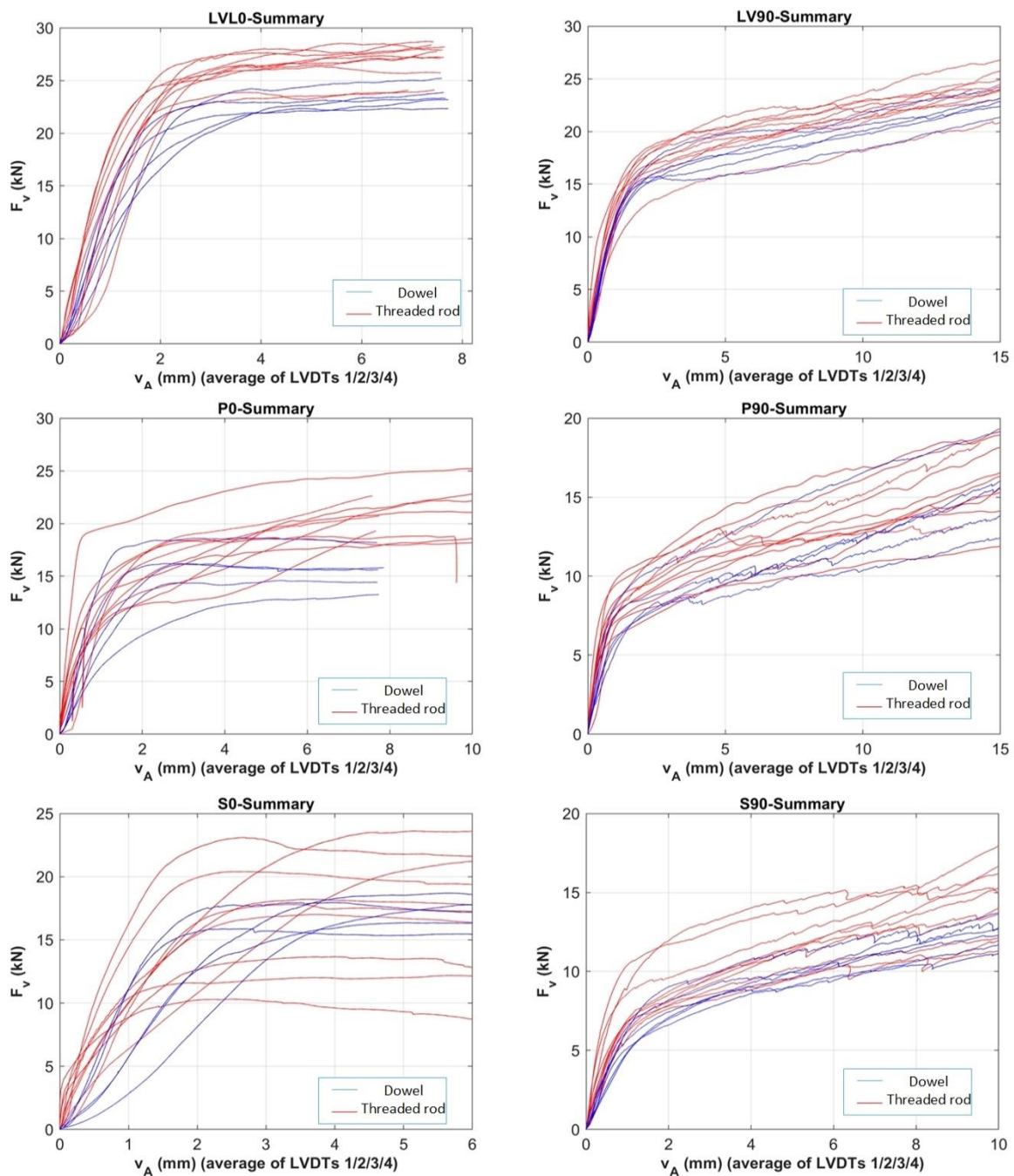


Figur 11: 3 punkts flytemomenttest, prinsippskisse, illustrasjon av 3 punkts flytemomenttest, Forsøksoppsett

3 Resultat og diskusjon

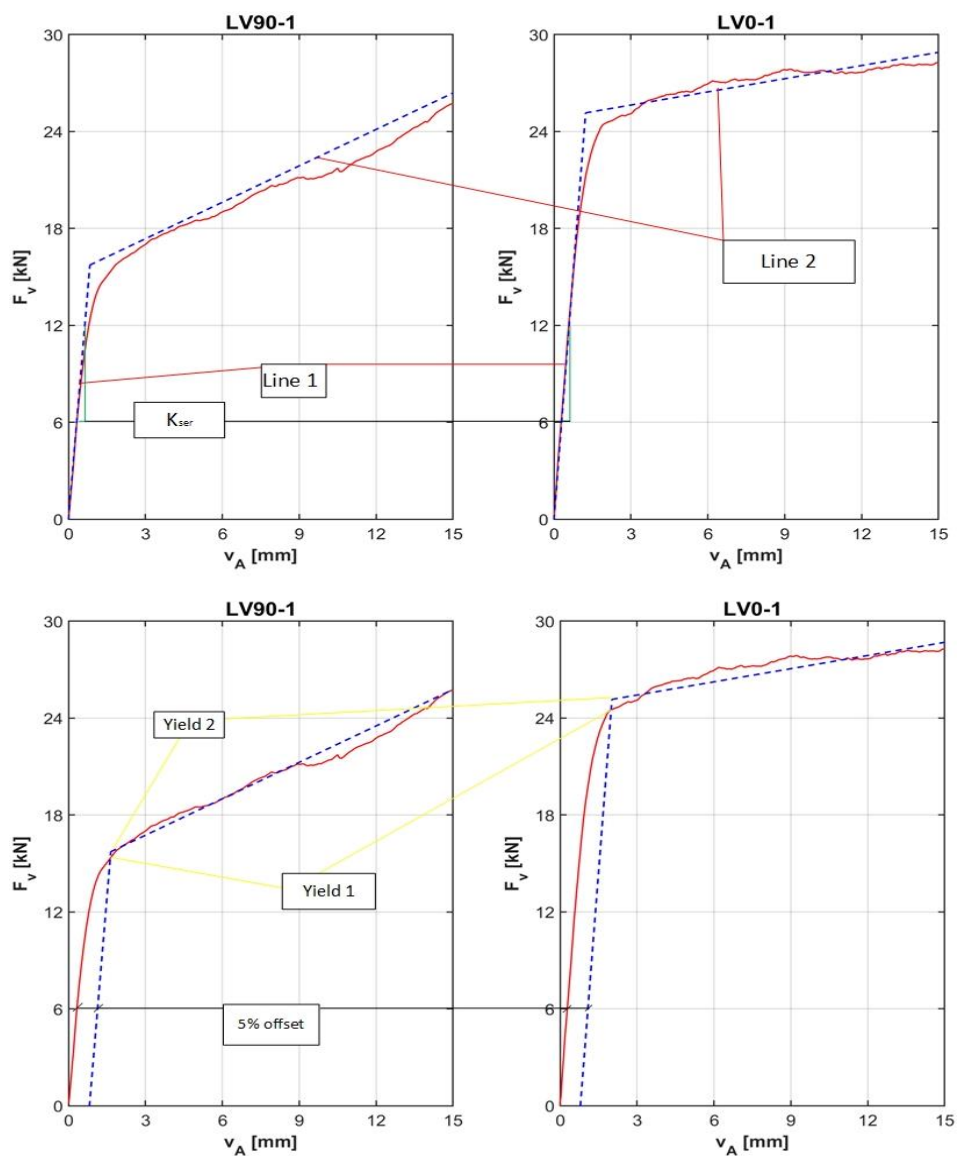
3.1 Hullkant-test (Embedment test)

Figur 12 viser kraftforskyvningskurve for alle gjennomførte testserier for parallell og vinkelrett på fiberretningen med gjengestenger og dybler. De røde kurvene i lastforskyvningskurven indikerer tester med gjengestenger, og de blå linjene indikerer tester med dybler. Forskyvingen ble registrert ved hjelp av to LVDT-er på hvert skjærnsnitt av prøvestykkene.



Figur 12: Resultat fra alle hullkant-tester, blå kurver er tester med dyble og røde kurver er tester med gjengestenger.

Figur 13 viser hvordan nødvendige data ble hentet ut fra de eksperimentelle forsøkene. Det ble etablert en linje med elastisitetdelen av resultatet (linje 1). Helningen av den linjen ble beregnet som stivhetsmodulen (K_{ser}), og andre linjen (linje 2) etablert med plastiskdelen av forsøket. Som tidligere nevnt er Stivhetsmodullinjen forskjøvet med en skala 5 % av staven sin indre diameter, d_I , for å finne materialets flyttespenningspunkt. I dette tilfelle ble det hentet ut to forskjellige f_y -er. f_{y1} er kryssepunktet mellom lastforskyvningskurven og forskjøvelinjen, og f_{y2} er kryssepunktet mellom linje en og to. Beregningen i denne oppgaven er basert på f_{y1} .



Figur 13: Forklaring for nødvendige data i eksperimentelle tester, prøvestykke LVL

Tabell 5 og 6 oppsummerer resultatet fra hullkant-testene, og viser gjennomsnittlige resultater av flyttespenning 1, flyttespenning 2 og stivhetsmodul på gjennomførte tester.

Tabell 5: Oppsummering av resultater for eksperimentelle hullkant-tester med gjengestenger.

Testede materiale		F_{y1} (KN)				F_{y2} (KN)				K_A (KN/mm)			
Material	Antall tester	Gjennomsnitt		CoV (%)		Gjennomsnitt		CoV (%)		Gjennomsnitt		CoV(%)	
		0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
Furu	10	15,6	9,44	16	15	18,2	10,42	16	18	20,13	12,48	52	34
Gran	10	17,48	9,58	26	14	18,01	10,91	27	13	11,76	10,97	51	44
LVL	10	25,27	17,39	5	8	26,41	18,28	5	8	18,42	14,83	17	30

Tabell 6: oppsummering av resultater for eksperimentelle hullkant-tester med dyble

Testede materiale		F_{y1} (KN)				F_{y2} (KN)				K_A (KN/mm)			
Materiale	Antall tester	Gjennomsnitt		CoV(%)		Gjennomsnitt		CoV (%)		Gjennomsnitt		CoV(%)	
		0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
Furu	5	14,56	8,12	20	12	15,19	8,61	16	9	12,29	8,4	44	34
Gran	5-6	16,69	7,61	7	12	17,09	8,39	7	40	8,39	6,67	40	21
LVL	5	20,81	15,33	10	4	21,8	16,24	7	6	13,69	13,98	24	3

Figur 14 og 15 viser de typiske bruddformene som har oppstått i testene. Vi kan observere at staven har sunket rett ned i tester med parallell med fiberretning. Denne kan forklares ved Euler - Bernoulli formelen for søyle: lasten ble påført direkte på fiberne - til de ikke tåler mer. Det vil si at en av fiberne svikter og resten svikter etter første brudd. For testene vinkelrett på fiberretning kan observeres at spenningen har spredt seg i en vinkel på ca. 45 grader. Dette kan forklares med punkt 6.1.5 i EC5 [8]. Det vil si at spenningen sprer seg i den effektive kontaktflaten under trykk vinkelrett på fiberretningen.



Figur 15: De mest observerte bruddformer i hullkant-tester vinkelrett på fiberretning.



Figur 14: Den vanligste bruddformen på hullkant-tester i parallell med fiberretning.

Prøvestykkene oppførte seg plastisk under testing, med unntak av de prøvestykkene som splittet under testing. Vi kan deles knutepunktet sin oppførsel i tre faser: Første fasen er initialslippfasen, andre fasen er elastiskfasen, og tredje fasen er plastiskfasen. Fasenes posisjon kan variere på grunn av trevirket sine egenskaper, som vi kommer tilbake til. Den første delen kalles initialslippet, det vil si at forbindere forskyves litt mer i forhold til lastpåføringen. En slik forskyvningen kan begrunnes i at de forborete hullene er litt større enn stavens diameter, og fordi den gjengende delen og kjernediameteren av staven ikke har lineær kontakt med trevirket. Elastisitetstfasen er en lineær økning av last opp til materialets flytespenningspunkt. Etter at flytespenningsgrensen er oppnådd, kommer trevirket i plastiskfasen. I den fasen viser lastforskyvningskurven en enten konstant eller lineær økning av last med lavere helning. Den konstante lasten kan observeres mest i testene parallell med fiberretning. Dette kan forklares med at fiberne som likner på sugerør, ikke klarer å støtte hverandre. En lineær økning av lasten med lav helning kan observeres mest i hullkant-test vinkelrett på fiberretningen. Etter flytningpunktet ble fiberne punktert og samlet oppå hverandre, og etter hvert

ble det et tykt lag med punktert fiber. Derfor ble det nødvendig å legge på mer last for å forskyve fibrene.

Den initialslippen kan observeres mellom 0 til 0,5 mm i noen av testene, både i parallell og vinkelrett på fiberretning. Flytningspunktet kan observeres mellom 0,5 mm til 2 mm, for alle materialene, med unntak av de testene av gran i parallell med fiberretning. De har strekt seg til tre millimeter.

Det kan presiseres at hullkantfasthet ikke er en materialparameter for trevirke. Hullkantfasthet i tillegg til materialet sine egenskaper avhenger av stavens diameter og beskaffenhet. Det kan nevnes at hullkantfasthet for trevirker som furu og gran ligger i området 22 til 32 MPa. [4] . Disse tallene er i samsvar med gjennomsnittlige resultat fra testene.

3.1.1 Reaksjon av hullkantfasthet i parallell med fiberretning

Figur 13 viser kraftforskyvningskurver fra hullkantfasthet testene både for dyble og gjengestenger i parallell og vinkelrett på fiberretning. Initialslippet kan observeres i start av lastpåføringen. Dette kan oppstå på grunn av skjev montering av gjengestenger slik at gjengesten ikke har lineær kontakt med trevirket i forborete hull. For dybler kan det forklares med at forborete hull har litt større diameter enn dyblens diameter. Derfor trenges det ekstra kraftpåføring for dyblen eller gjengesten til å sette seg på rett plass i hullet. Etter initialslippet kan det observeres annen oppførsel i hullkant-testen. Det er en proporsjonal oppstigning av kraft og forskyving til flytningspunktet (Yield point), etter flytningspunktet kan det observeres tredje fase av trevirket sin belastning. Den tredje fasen av trevirke er litt variert, og den kan observeres fra 0,8 mm til 1,5 mm forskyvning i hullkantfasthetstestene. Tredje fasen, eller oppførselen, er lineær konstant last, som en rett linje - ofte med en helning lavere enn 0,2 KN.

Gjennomsnittlige verdier for hullkantfasthet parallell med fiberretning er 24.93, 27.5 og 37.21 MPa henholdsvis for furu, gran og kerto Q. Disse verdiene kan sammenligne med verdier som kan beregnes ved antatt likning 10 fra EC5 [8] for hullkantfasthet og likning (12) fra ETA-12/0114 [11].

Tabell 7 oppsummerer gjennomsnittlig hullkantfasthet og stivhetsmodul fra både testene og den empiriske formelen i EC5, med deres variasjonskoeffisient i prosent.

Tabell 7: Gjennomsnittlige resultat av hullkantfasthet med gjengestenger, og empiriske likning fra eurokode 5 i fiberretning.

Materiale	Hullkantfasthet (f_h) fra tester ved å bruke f_{y1} & $d_1=16,1$ [MPa]		Hullkantfasthet (f_h) fra tester ved å bruke f_{y2} & $d_1=16,1$ [MPa]		(f_h) EC5 ($d_1=16,1$) [MPa]		Technical Approval (12) [MPa]	
	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)
Furu	24,9	15	29,1	15	31,3	7	29,1	7
Gran	27,5	26	28,3	27	27,2	12	25,3	12
LVL	37,2	5	38,9	5	35,4	5	32,92	5

Tabell 8 oppsummerer resultatet fra hullkantfasthet med dybler.

Tabell 8: Gjennomsnittlige resultat av hullkantfasthet med dybler og empiriske likning fra eurokode 5 i fiberretning.

Materiale	Hullkantfasthet fra tester ved å bruke f_{y1} & $d=16,1$ [MPa]		Hullkantfasthet fra tester ved å bruke f_{y2} & $d=16,1$ [MPa]		EC5 ($d_{eff}=1,1*16,1$) [MPa]	
	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)
Furu	23,0	19	24,0	16	29,0	4
Gran	26,1	7	26,7	6	28,3	4
LVL	30,6	10	32,0	8	34,7	3

Tabell 7 og 8 viser tydelig at LVL har høyere hullkantfasthet (f_h) enn gran og furu. Gran, som har lavere densitet, har nesten lik, eller større, hullkantfasthet enn furu. Resultatverdiene fra den empiriske formelen fra EC5 [8] og ETA [11] er mye høyere enn resultatverdiene fra de eksperimentelle testene, i hullkantfasthet i fiberretning. EC5 [8] ledd 8.5 spesifiser at likning 10 gjelder for staver med en diameter på opptil 30 mm.

3.1.2 Reaksjon av hullkant-test i vinkelrett på fiberretning

Figur 12 oppsummerer alle hullkant-tester som ble gjennomført med gjengestenger og dybler, vinkelrett på fiberretning. Det er lett å oppfatte at materialet har tre faser under testing. De tre fasene er nesten identiske med de tidligere forklarte fasene i parallell med fiberretning. Kurvene viser tydelig at materialet har lavere kapasitet i vinkelrett på fiberretningen. Dette kan begrunnes med at materialet er anisotropisk. Det vil si at trevirke har bedre trykk/strekk kapasitet i radialsnittet enn tangential eller tverrsnittet. I tabell 9 og 10 oppsummeres det gjennomsnittlige resultatet av hullkantfasthet og variasjonskoeffisient for gjengestenger og dybler.

Tabell 9: Gjennomsnittlige resultat av karakteristisk hullkant-test med gjengestenger, og empiriske likning fra eurokode 5 i vinkelrett på fiberne.

Materiale	Resultat fra hullkantfasthet tester ved å bruke fy1 & d ₁ =16,1 [MPa]		Resultat fra hullkantfasthet tester ved å bruke fy2 & d ₁ =16,1 [Mpa]		EC5 (d ₁ =16,1) [MPa]		Technical Approval (12) [MPa]	
	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)
Furu	14,9	16	16,5	18	21,2	6	11,7	11
Gran	15,1	14	17,2	13	19,1	3	10,5	6
LVL	25,6	8	26,9	8	22,3	1	12,81	4

Tabell 10: Gjennomsnittlige resultat av karakteristisk hullkant-test med dybler, og empiriske likning fra eurokode 5 i vinkelrett på fiberne.

Materiale	Resultat fra hullkantfasthet tester ved å bruke fy1 & d=16 [MPa]		Resultat fra hullkantfasthet tester ved å bruke fy2 & d=16 [MPa]		EC5 (d=16,1) [MPa]	
	Gj.snitt [MPa]	CoV(%)	Gj.snitt [MPa]	CoV(%)	Gj.snitt [MPa]	CoV(%)
Furu	23,01	19	24,02	16	20,86	4
Gran	11,96	11	13,5	6	19,12	1
LVL	22,5	5	23,83	6	22,48	1

Resultatet fra de øvrige tabellene viser at EC5 [8] ikke er konservativ sammenlignet med de karakteristiske verdiene vi fikk fra de eksperimentelle testene. LVL har hatt bedre hullkantfasthet enn furu og gran i alle tester. Hvis resultatverdier fra eksperimentelle tester sammenlignes med den empiriske formelen fra EC5 og Technical Apporoval, kan oppfattes at EC5 [8] og ETA [11] ikke er konservativ. Resultatet fra de eksperimentelle testene viser at bartrevirke har betydelig lavere kapasitet enn resultatverdiene fra de empiriske likningene fra EC5 [8] og ETA [11].

3.1.3 Karakteristiske verdier for hullkantfasthet

Karakteristiske verdier for hullkantfasthet ble beregnete etter EN 14358:2016(E) [31]. Tabell 11 oppsummerer alle karakteristiske verdier for hullkantfasthet i hver serie av testene.

Tabell 11: oppsummering av karakteristiske verdier for hullkantfasthet, og deres forhold

	Furu		Gran		LVL	
	0	90	0	90	0	90
$f_{h,k,Gj.stenger} (1)$ [MPa]	17,86	10,42	14,72	11,29	33,45	21,49
$f_{h,k,dyble} (2)$ [MPa]	13,65	10,79	22,06	9,1	23,67	19,88
$(1)/(2)$	1,3	0,97	0,67	1,24	1,41	1,08

Resultatet fra tabell 11 viser at karakteristiske verdier fra testserien med gjengestenger er større enn karakteristiske verdier av andre i testserien ved å bruke dyble. Unntaket er testserien av gran i parallell med fiberretningen. Furu har 30 % mer kapasitet ved å bruke gjengestenger fremfor dybler i fiberretning, og de har nesten samme kapasitet i normal på fiberretningen. Kerto Q eller LVL har 41% mer kapasitet ved å bruke gjengestenger enn dybler i parallell med fiberretning, samt har de nesten samme kapasitet i vinkelrett på fiberretning.

3.1.4 Stivhetsmodul resultat (K_{ser})

For stavformede forbindere har EC5 [8] definert stivhetsmodulen (K_{ser}) per skjærflate per forbindelse under brukslast ved likning 17.

Tabell 12 oppsummerer gjennomsnittlige resultat fra utførte tester og likningen fra EC5. Det ble brukt gjengestangens ytre diameter ($d = 22$ mm) som stavens diameter, siden EC5 [8] ikke har forklart hvilken diameter som skal brukes.

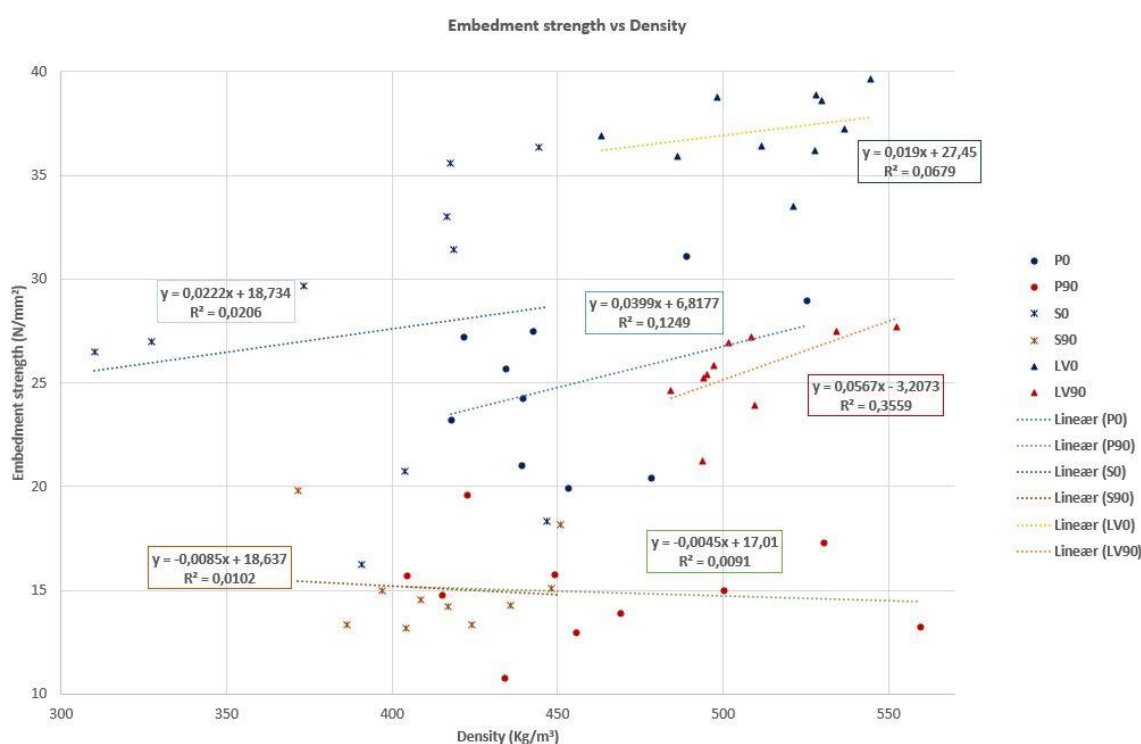
Tabell 12: Oppsummeringsresultat fra stivhetsmodul

Materiale	Retning	K_{ser} fra tester [KN/mm]				K_{ser} fra EC5 per skjær flat [KN/mm]			
		Gjengestenger (d=22)		Dybler D=16		Gjengestenger (d=22)		Dybler D=16	
		Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)	Gj.snitt	CoV(%)
Furu	parallel	20,13	52	12,29	44	9,26	0	6,24	0
	normal	12,48	34	8,4	34	9,57	0	6,65	0
Gran	parallel	11,76	51	8,39	40	7,51	0	6,02	0
	normal	10,97	44	6,67	21	8,07	0	5,61	0
LVL	parallel	18,42	17	13,69	24	11,17	0	8,18	0
	normal	11,83	3	13,98	3	10,92	0	8,23	0

Resultatet fra tabell 12 viser at EC5 [8] ikke har akseptabelt forhold til resultatverdiene fra de eksperimentelle testene, for både dybler og gjengestenger i begge retninger – med unntak fra testserien furu i fiberretning. Resultatverdier fra den empiriske likningen i EC5 [8] er beregnet for hvert skjæringsnitt. Som tidligere nevnt har hullkant-testene dobbelt skjæringsnitt. Dermed bør disse verdiene ganges med to. Hvis vi multipliserer disse tallene med to får vi høyere verdi i den empiriske likningen fra EC5 [8] enn resultatet fra testene.

3.1.5 Korrelasjon mellom tetthet og hullkantfasthet

Eksperimentelle verdier for hullkantfasthet ble plottet mot densitet for alle testene. I tillegg ble en regresjonslinje og en regresjonsparameter fikset for hver serie av testene. Dette ble presentert i figur 16. Korrelasjonen mellom tetthet og hullkantfasthet er veldig lave i alle serier av testene med gjengestenger. Ved så lav korrelasjon kan vi ikke påstå eller konkludere noe. Den høyeste verdien, $R^2 = 0,356$, kan observeres i testserien for LVL i vinkelrett på fiberretningen. Resten av korrelasjonsverdiene er lavere enn 0,13 (figur 16).



Figur 16: Individuell regresjonslinje og varians for alle testserier med gjengestenger.

Siden korrelasjonen mellom hver enkelt serie var veldig lav, ble alle testene i parallell med fiberretningen samlet i en serie, og alle testene i vinkelrett på fiberretning i en serie. Disse ble plottet mot tetthet i et punktdiagram. En regresjonslinje og variansverdi ble satt for hver serie av testene, som er presentert i figur 17.

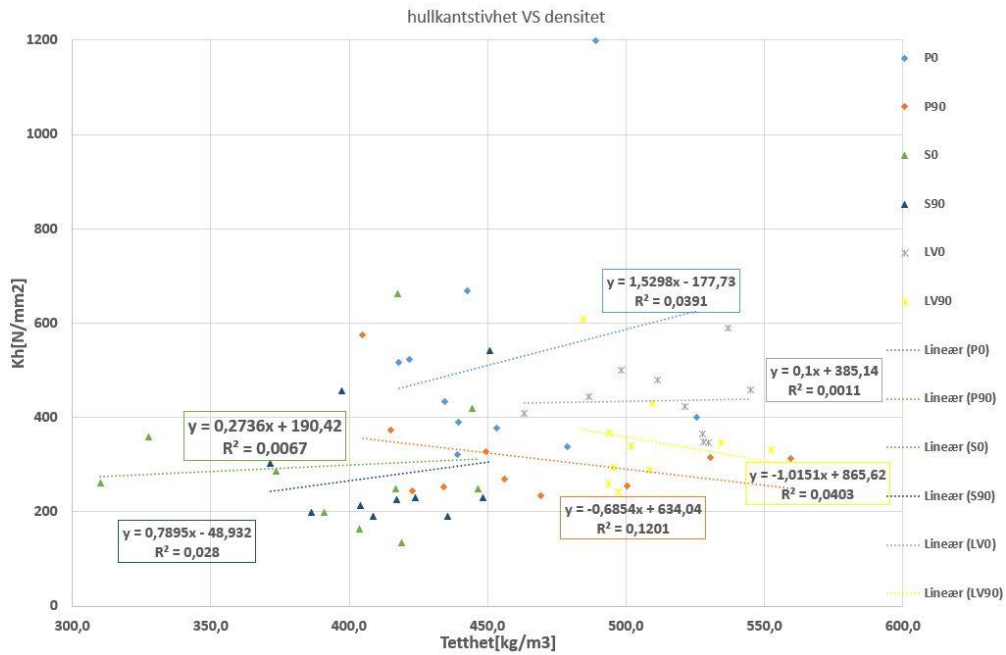


Figur 17: Plotting av hullkantfasthet mot tetthet med gjengestenger og dyble for parallell og vinkelrett på fiberretning.

Resultatet fra figur 17 viser at hullkantfasthet (f_h) har positiv effekt med densitet (ρ). En god korrelasjon, $R^2 = 0,723$, ble funnet i testene vinkelrett på fiberretning ved å bruke dyble. En akseptabel korrelasjon, $R^2 = 0,59$, ble hentet ut fra regresjonsdiagnosen mellom hullkantfasthet og densitet i testene parallell fiberretning ved bruke av dyble som forbindere. Variansverdien (R^2) for andre sett av testene med gjengestenger i parallell og vinkelrett på fiberretning er henholdsvis 0,382 og 0,249. Disse diagnosene er så lave at det er vanskelig å konkludere med noe konkret. Vi observerer likevel fra kraftforskyvningskurvene (figur 12) at gjennomførte tester med gjengestenger har tilnærmet lik kapasitet som tester med dybler.

3.1.6 Korrelasjon mellom andre parameterer

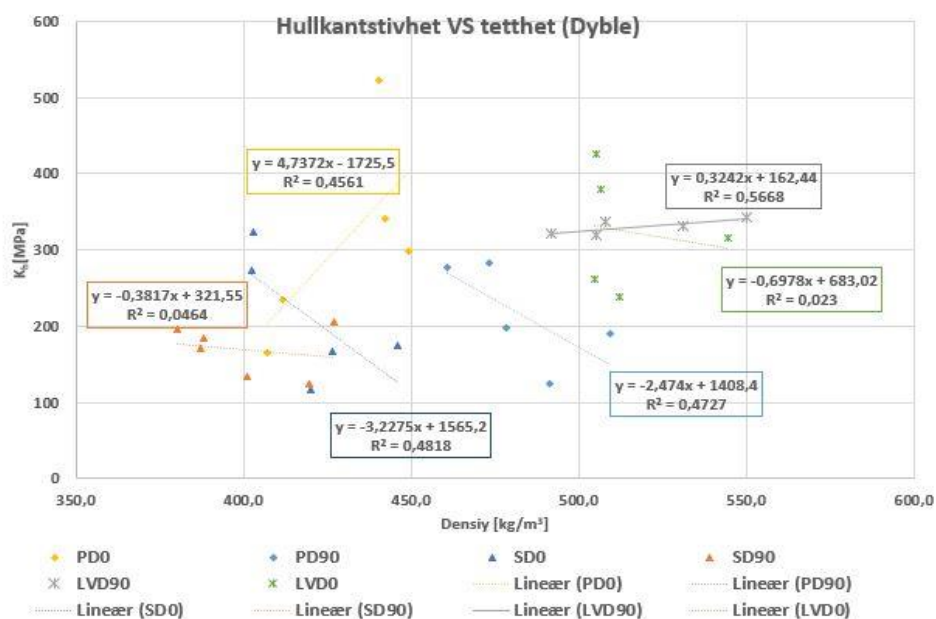
Mange verdier ble beregnet i disse eksperimentelle forsøkene. For eksempel kan det nevnes stivhetsmodul (K_{ser}), hullkantstivhet, (K_h), og flyttespenning ($f_{y(1/2)}$). Det ble satt opp et punktdiagram for disse verdiene mot densitet, for å finne en korrelasjon.



Figur 18: Korrelasjon mellom hullkantstivhet og densitet, ved å bruke gjengestenger

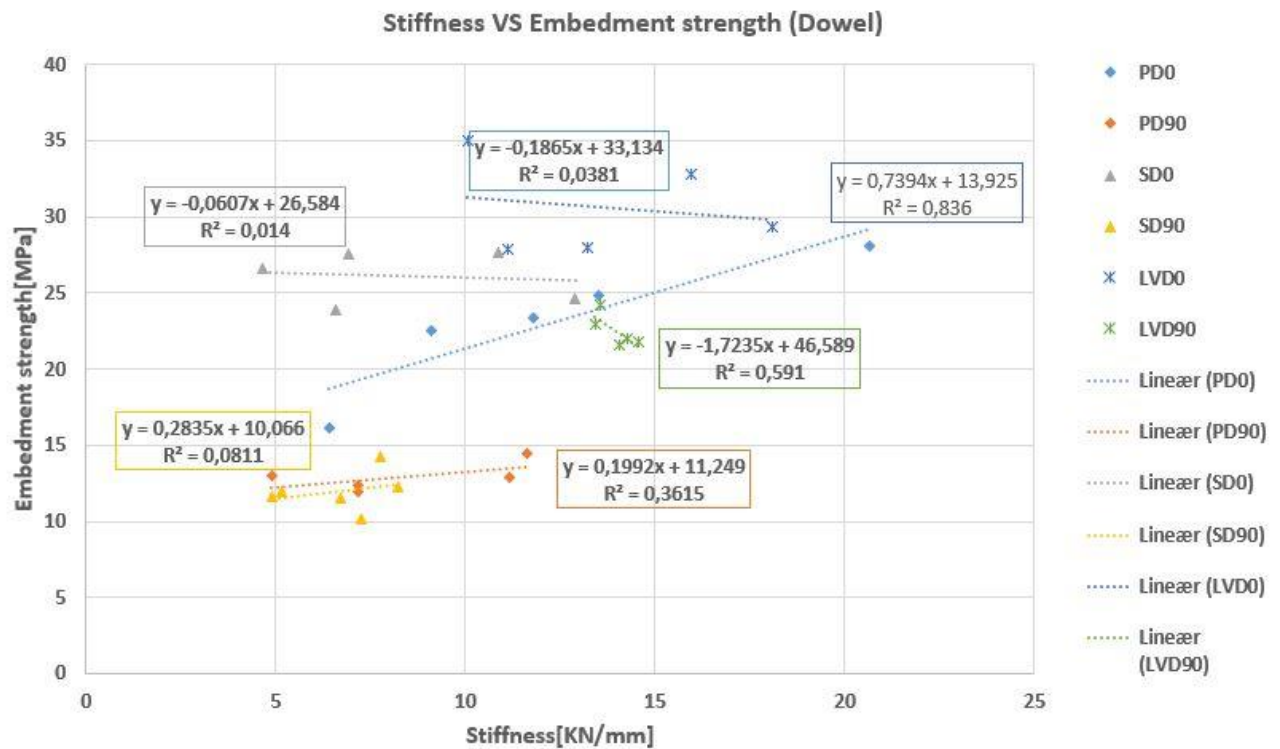
Som det kan observeres fra regresjonslinjen og variansen mellom densitet og hullkantstivhet på figur 18, finnes det ikke noen korrelasjon mellom disse parameterne.

Korrelasjonstallene avviker noe fra det å bruke dyble. Det er god korrelasjon ($R^2 = 0,5668$) mellom hullkantstivhet (K_h) og densitet. Denne korrelasjonen ble hentet ut fra hullkantfasthet med dybler i vinkelrett på fiberretningen, som er vist på figur 29.



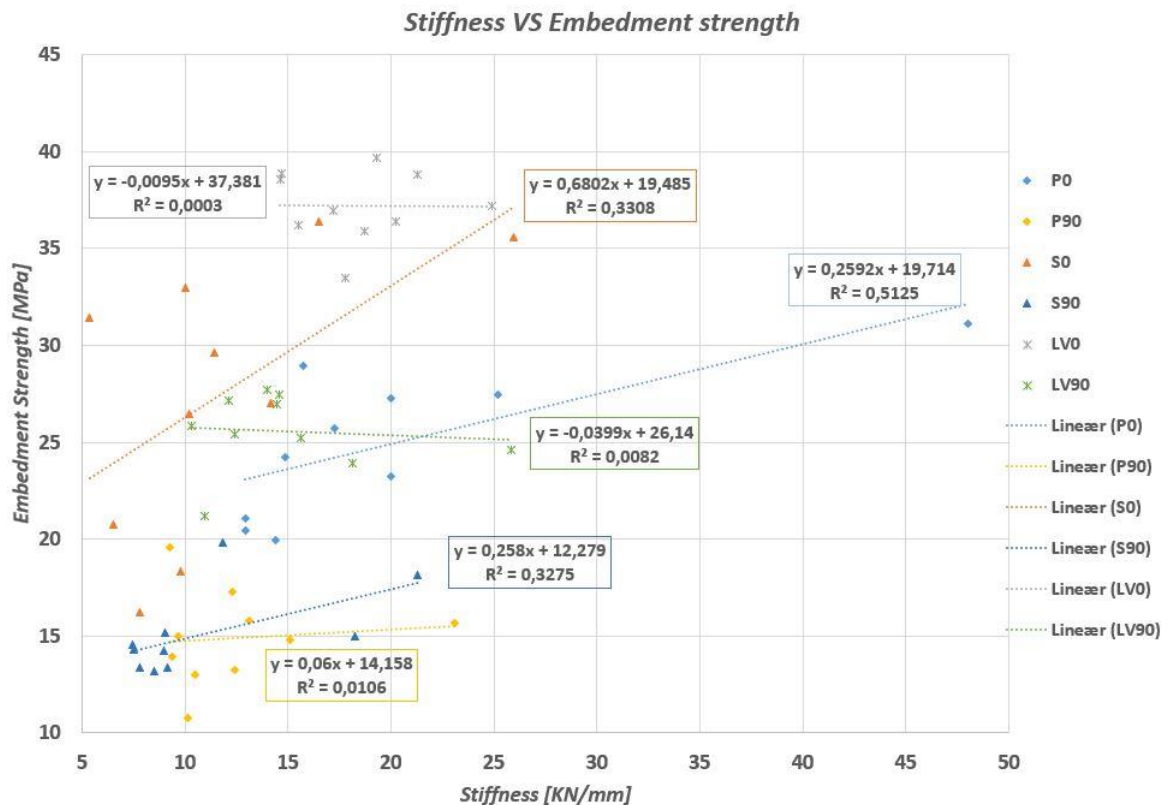
Figur 19: Korrelasjon mellom densitet og hullkantstivhet for testserien med dyble.

Varianstallene var mer lovende mellom hullkantfasthet stivhetsmodulen ved å bruke dybler i testserien vinkelrett på fiberretning. Den beste variansen som ble funnet var $R^2 = 0,836$ for furu og deretter kerto Q med $R^2 = 0,591$. Disse tallene og korrelasjonslinjen er presentert i figur 20.



Figur 20: Korrelasjon mellom stivhet og hullkantstyrke vinkelrett på fiberretning ved bruke av dyble som stav.

Disse tallene er noe avvikende hvis vi lager en korrelasjon mellom stivhet og hullkantfasthet i testserien ved bruk av gjengestenger. Det kan finnes en akseptabel korrelasjon ($R^2 = 0,5125$) i testserien furu parallell med fiberretning. Gran i begge retninger (parallell og vinkelrett) har en korrelasjon på $R^2 = 0,32$ og $0,33$, mens resten av testseriene har lavere korrelasjon. Figur 21 viser korrelasjonen mellom stivhet og hullkantstivhet. Vi kan konkludere fra variasjontallene i figur 21 at det finnes en liten korrelasjon mellom hullkantfasthet og stivhet, men resultatverdiene er veldig lave og det trengs videre testing for å kunne konkludere.



Figur 21: Korrelasjon mellom stivhet og hullkantfasthet

3.2 Resultat fra trykkfasthetstest (kompresjonstest)

Totalt 91 prismer ble trykktestet. 45 av disse ble testet i parallell med fiberretning, og resterende 45 ble testet i vinkelrett på fiberretning. Tabell 2 oppsummerer prøvestykkenes dimensjon og antall tester av hvert materiale.

Figur 26 viser kraftforskyvningskurvene for alle testene i parallell og vinkelrett på fiberretning. Trykktestene i parallell med fiberretninger ble evaluert med maksimum last, som ble påsatt for hvert enkelt prøvestykke i forhold til NS-EN 408 [27]. For trykktestene i vinkelrett på fiberretning ble flytegrensen hentet ut ved å forskyve stivhetsmodulen med 1 % av prismenes høyde, i henhold til NS-EN 408 [27]. Denne metoden er mest aktuell for furu og gran, vinkelrett på fiberretning. Begrunnelsen for dette er at det i disse testene ikke kan bestemmes en maksimum last.

Tabell 13 oppsummerer gjennomsnittlige resultater fra alle testene med variasjonskoeffisient (CoV). Elastisitetsmodulen (E_c) ble beregnet ved hjelp av likning 21, for både parallell og vinkelrett på fiberretning.

Tabell 13: Oppsummering av gjennomsnittlige trykkfasthetstest, stivhetsmodul og elastisitetsmodul.

		Trykkfasthet F_c [N/mm ²]				Stivhetsmodul K_{ser} [N/mm]				E-modul [N.mm ⁻²]			
Testede materiale	Antall tester	Gjennomsnitt		CoV (%)		Gjennomsnitt		CoV (%)		Gjennomsnitt		CoV (%)	
		0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
		Furu	15	33,96	4,34	12	24	83,04	9,01	27	32	2614	200,8
Gran	15/16	34,22	3,84	16	24	118,89	9,14	25	42	3358	184,22	23	38
LVL	15	33,2	14,14	7	6	120,24	42,72	20	30	3505	924,73	20	31



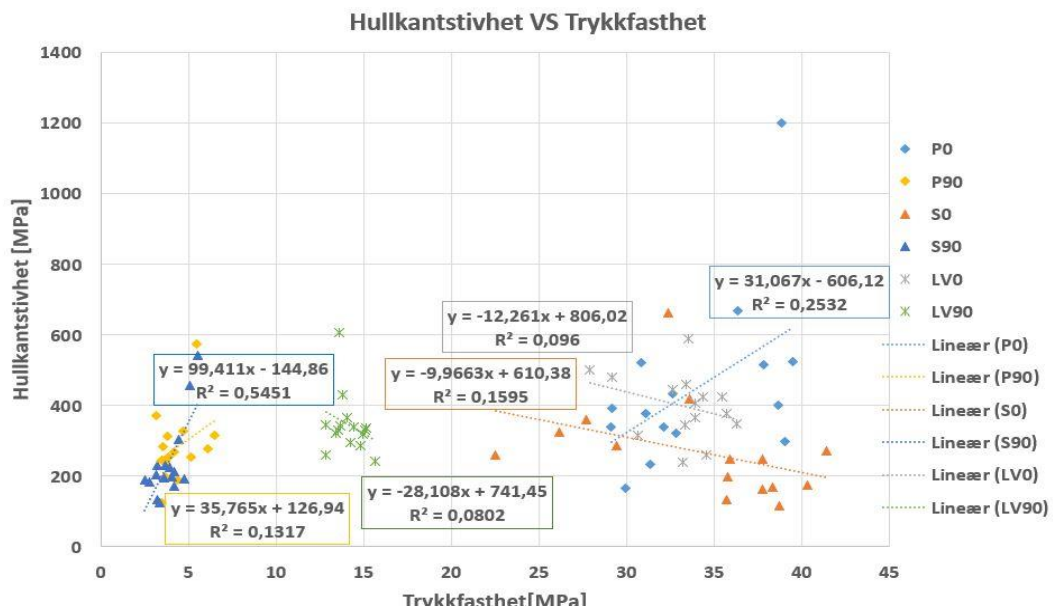
Figur 22: De mest vanlige bruddformene som oppstår under trykkfasthetstesten.

Figur 22 viser de mest observerte bruddtypene som har oppstått i trykkfasthetstestene.

Det kan observeres tydelig på lastforskyvningskurven fra figur 25 at alle testene i parallell fiberretningen har nådd maksimum last etter 0,5 - 0,9 millimeter forskyvning, og for tester vinkelrett på fiberretning har testene flytegrense fra en millimeter og oppover. I noen av de testene kan vi observere noe mer forskyvning i starten av lastpåføringen, dette skyldes det ujevne kontaktarealet mellom prøvestykket og maskinen.

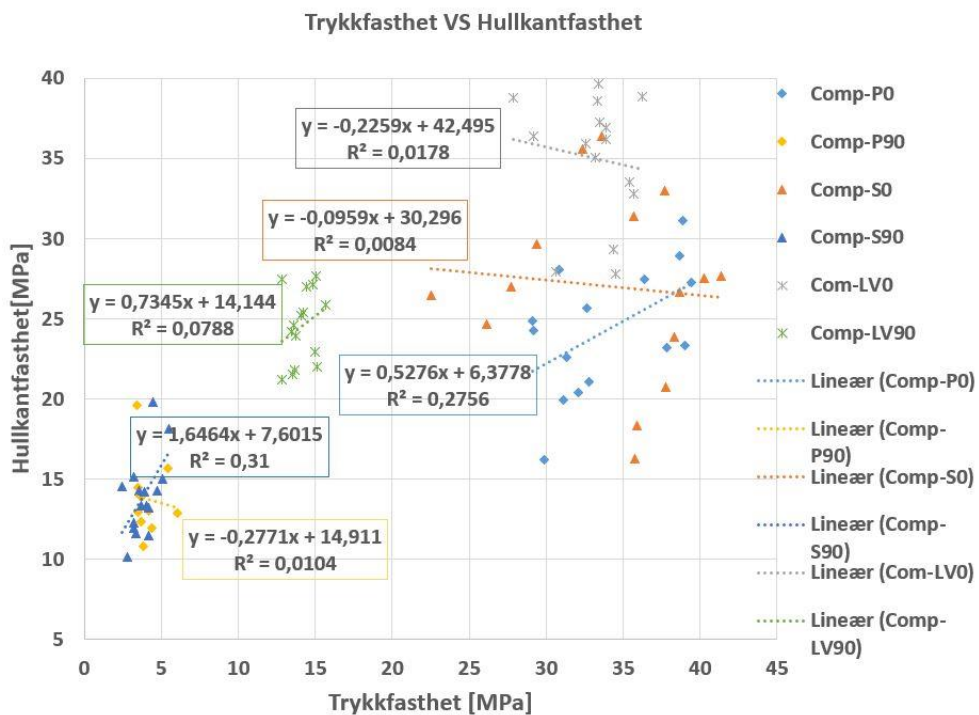
Hullkantfasthet (f_h), hullkantstivhet (K_h) og trykkfasthet (f_c) bør ha en korrelasjon med hverandre, siden det i alle testsituasjonene blir fibrene belastet med trykklast. Derfor settes det opp en korrelasjonslinje med regresjonsverdi mellom disse parameterne, for å finne eventuell korrelasjon mellom dem.

Figur 23 viser den beste korrelasjonen mellom hullkantstivhet og trykkfasthet med $R^2 = 0,54$ for testserien gran i vinkelrett på fiberretning, videre er korrelasjon ($R^2=0,253$) for testserien furu i parallell med fiberretning.

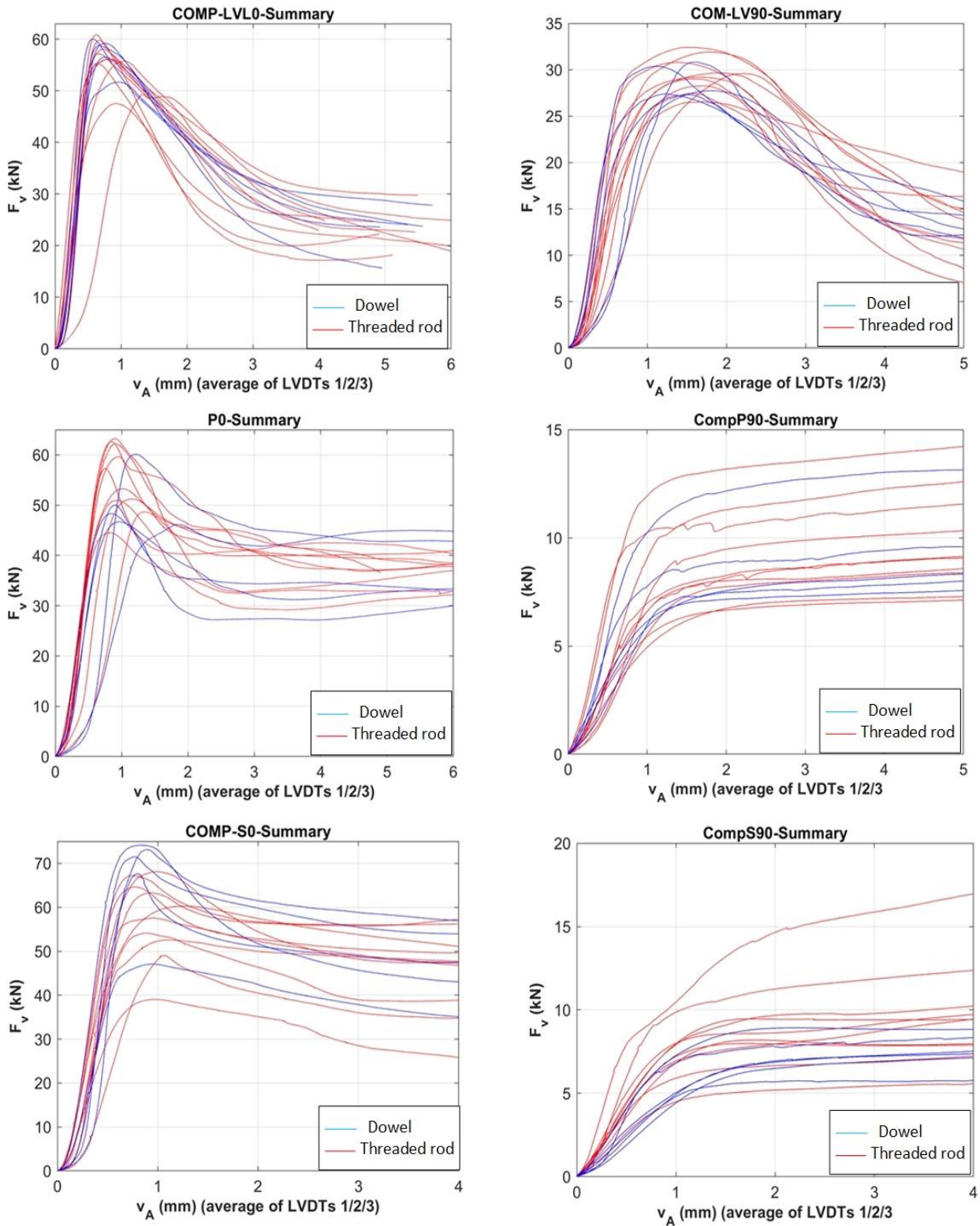


Figur 23: Korrelasjon mellom hullkantfasthet og trykkfasthet i testserien parallell og vinkelrett på fiberretning

Neste korrelasjon som ble satt opp var trykkfast mot hullkantfasthet. $R^2 = 0,31$ var den beste variansen som kan observeres i den korrelasjonen. Figur 24 viser korrelasjonen mellom hullkantfasthet og trykkfasthet.



Figur 24: Korrelasjon mellom hullkantfasthet og trykkfasthet i begge retninger



Figur 25: Kraftforskyvningskurve for alle materialer som ble testet i parallelle (0) og vinkelrett (90) på fiberretning. Blå er kubene som testet med dyble og røde er kubene som testet med gjengestenger.

3.3 Resultat fra flytemomenttest.

Totalt 15 staver ble testet i samsvar med ISO 10984-1 [21]. Lengden av prøvestykkene er gitt i tabell 14. Testene ble gjennomført som trepunkts bøyningstest, som tidligere nevnt. Illustrasjon og ferdig oppsett er vist i figur 10 og 11. Tabell 15 viser strekkfasthet (f_u), flytegrensen (Yield load) og flytemomentet i [Nmm]. Flytemomentet (M_y) ble beregnet ved likning: $M_y = f_y \cdot l/4$ i [Nmm] og $M_u = f_u \cdot l/4$ [Nmm].

F_y er flytegrensen, og l er prøvestykkens lengde mellom to opplagere i mm. Figur 27 presenter kraftforskyvingskurve for alle testene.

Tabell 14: Dimensjon og resultat av alle gjengestenger som ble testet for bøyemoment

Spacemen nr	F_u [KN]	$\delta (F_u)$ [mm]	F_y [KN] (d=16.1)	$\delta (F_y)$ [mm]	K [KN/mm]	M_u [Nmm]	M_{y-test} [Nmm]	$M_{y,rk}$ (EC5) [Nmm]
Type1-1	24,6	21,17	19,65	3,238	8,19	984000	786000	527824
Type1-2	24,95	23,35	20,04	5,12	7,44	998000	801600	527824
Type1-3	24,28	21,38	19,15	3,467	7,68	971200	766000	527824
Type1-4	24,12	23,51	18,71	3,285	7,64	964800	748400	527824
Type1-5	24,41	20,29	18,98	3,187	8,15	976400	759200	527824
Type1-6	24,8	25,5	19,31	3,248	8,1	992000	772400	527824
Type1-7	24,65	21,21	19,19	3,148	8,17	986000	767200	527824
Type1-8	23,81	22,37	18,59	3,251	7,63	952400	743600	527824
Type1-9	23,65	23,96	18,38	3,172	7,9	946000	735200	527824
Type1-10 *	24,78	21,845	18,83	3,777	6,24	991200	753200	527824
gj.snitt	24,36		19,11		7,88	974533	763280	
STD.AVVIK	0,441		0,52		0,286	17643	20896	
CoV	2 %		3 %		4%	2%	3 %	
Type2-1	23,87	19,15	17,09	2,931	8,04	954800	684000	527824
Type2-2	24,01	19,75	17,27	3,209	7,36	960400	690800	527824
Type2-3	23,17	19,18	16,59	2,931	7,8	926800	663600	527824
Type2-4	23,35	19,27	16,78	2,952	7,78	934000	671200	527824
Type2-5	23,34	21,37	16,52	2,977	7,6	933600	660800	527824
gj.snitt	23,548		16,852		7,72	941920	674080	
STD.AVVIK	0,3683		0,32		0,25	14730,65	12965,80	
CoV	2 %		2 %		3%	2%	2 %	
* Testen ble tatt ut av beregningen, siden gjengen var ikke glattet ved opplagerkraften.								

Eurokode5 [8] har definert den karakteristiske verdien for flytemoment ($M_{y,Rk}$) ved likning 9. Denne likningen gir en verdi for flytemoment på 527824,5 ved å bruke $d_{eff}=1,1*d_1=1,1*16,1=17,71$. Hvis en sammenligner gjennomsnittlige verdier fra testen og resultatet fra EC5, kan det observeres en stor forskjell mellom disse to verdiene.

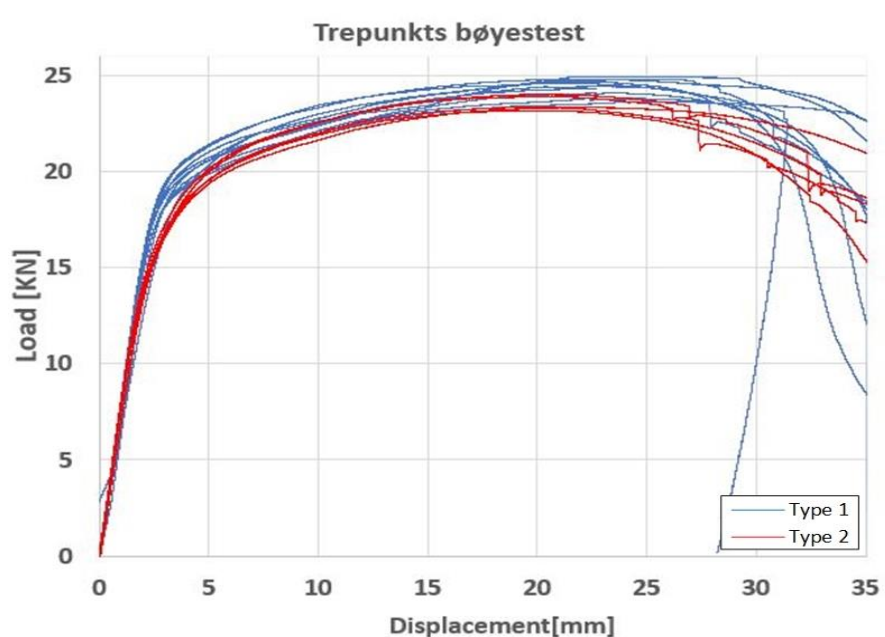
Hvis vi analyserer de verdiene et steg videre, ved å bruke analytiske flytemoment både i elastisk - og plastiskfasen, kan vi bruke likningen:

$$\text{Elastisk moment fra mekanikk} \quad M_y = f_y \cdot W_{el} = f_y \cdot \frac{\pi \cdot r^3}{4} \quad (33)$$

Plastisk moment for sirkulær beam fra mekanikk har vi likning:

$$M_y = f_u \cdot W_p = f_u \cdot \frac{4 \cdot r^3}{3} \quad (34)$$

Når vi setter $f_y = 900$, $f_u = 1000$ og $d_l = 16,1$ gir likning 33 og 34 oss verdier på henholdsvis 368553 og 695000. Derfor kan det konkluderes med at herdning av gjengestenger har en bra effekt i forhold til forbindelsen flytemoment, og likningen i EC5 er konservative.



Figur 26: Kraftforskyvingskurve fra 3-punkts bøyningstest

4 Konklusjon

Denne masteroppgaven beskriver eksperimentelle arbeider om den mekaniske oppførselen til en dobbel skjærforbindelse med enkel gjengestang i bærtrevirke. Det eksperimentelle arbeidet inkluderte også hullkantfasthet-tester, trykkfasthet-tester, densitetstester og tre-punkts bøyningstest for gjengestang. Formålet var å skape tilstrekkelig data og informasjon som er nødvendige for å dimensjonere et knutepunkt i trevirke. Dette har bakgrunn i at det ikke finnes nok informasjon og litteratur for å dimensjonere gjengestenger som forbindelse i bartrevirke. Informasjonsmangelen på dette området hindrer bruk av gjengestengener som forbindelse i trevirker. Alle testene i denne rapporten ble gjennomført i henhold til NS-EN 383, EN14358, EN 408, ISO 13061-1 og ISO 10984-1 og 2.

Resultatet fra hullkant-testene og trykkfasthet-testene ble satt sammen mot hverandre, og det kan konkluderes at:

- Korrelasjonsverdiene for alle testene er mellom 0 og 0,5, slik at vi ikke kan konkludere med noen bestemt parameter.
- Karakteristiske verdier for hullkantfasthet med gjengestenger er større eller lik med karakteristiske verdier for tester ved bruk av dyble.
- Resultatet fra hullkantfasthet-testene viser at EC5 og ETA ikke er konservative, men i alle tilfeller er resultatet fra de empiriske likningene større enn resultatene fra testene
- Stivhetsmodulen fra testene er mye lavere enn stivhetsmodulen som kan beregnes ved hjelp av den empiriske likningen i EC5.
- Resultatet fra kraft-forskyvningskurven viser at hullkant-testene ved bruk av gjengestenger har lik kapasitet som hullkant-testene ved bruk av dyble.

Det andre eksperimentelle arbeidet var tre-punkts bøyningstest for gjengestenger med ytre diameter $d = 22$ mm og indre diameter $d_1 = 16,1$. Resultatet fra dette eksperimentelle arbeidet ble sammenliknet mot eksisterende likning for flytemoment i EC5. Resultatet viser at EC5 er veldig konservativ i forhold til den karakteristiske verdien fra det eksperimentelle arbeidet.

4.1 Forslag til videre arbeid

For å bestemme mer nøyaktige påstand for forskjellige parametere i denne beregningsmodellen, bør et større antall bartrevirke med forskjellige størrelse og tykkelse testes. Testene bør også belastes i forskjellig vinkler på fiberretninger.

Ulike tresorter, med variert tykkelse og vinkel, bør testes. Dette anbefales for å kontrollere påstanden i den oppgaven.

Dataene i denne oppgaven blir lagret ved Institutt for konstruksjonsteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, og kan brukes til videre arbeid og forskning.

Referanser

- [1] K. Grønvold, *Trekonstruksjoner: VG2*, Oslo, Norge: Byggeteknikk, Glydendal undervisning, 2007.
- [2] M. Cepelka, *Splicing of Large Glued Laminated Timber Elements by Use of Long Threaded Rods*, Trondheim: Norwegian University of Science and Technology-Department of Structural Engineering, 2017.
- [3] LIMTREBOKA, LIMTREBOKA, 1 red., LUND: Norske Limtreprodusenters Forening, 2015.
- [4] K. Bell, *Dimensjonering av trekonstruksjoner*, 1 red., Bergen: Fagbokforlaget, 2017.
- [5] A. Frangi og A. Mischler, «Pull-out tests on glued-in-rods at high temperatures,» i *Proceeding of 34th CIB-W18*, Venice, Italy, 2001.
- [6] K. Malo og M. Cepelka, *Moment resisting on-site splice of large glulam elements by use of mechanically coupled long threaded rods.*, Trondheim Engineering Structures, 2018.
- [7] H. Stamatopoulos, K. A. Malo og A. Vilguts, «Moment resisting frames and connections using threaded rods in beam-to column timber joints in Proceedings,» i *World Conference on Timber Engineering*, Seoul, Republic of Korea, 2018.
- [8] E. c. f. standardization, EN 1995-1-1:2004: Design of timber structures. Part 1–1, Brussels: General-common rules and rules for buildings. , 2004.
- [9] W. Y. O. K og K. Kyotani, «Development of ductile semi-rigid joints with lagscrewbolts and glued-in rods,» i *World Conference on Timber Engineering*, Trentio, Italy, 2010.
- [10] R. Tomasi , A. Crosatti og M. Piazza , *Theoretical and experimental analysis of timber-to-timber joints connected with inclined screws.*, 24 red., *Construction and Building Materials.*, 2010, pp. 1560-71.
- [11] ETA Danmark A/S, «European Technical Approval ETA-12/0114. 2013.,» ETA Danmark A/S, 2013.
- [12] ETA Danmark A/S, «10- European Technical Approval ETA-13/0090.,» ETA Danmark A/S., 2013.
- [13] T. Mori , M. Nakatani , S. Kawahara , T. Shimizu og K. Komatsu, «Influence of the number of fastener on tensile strength of lagscrewbolted glulam joint.,» i *Proceedings of the 10th World Conference on Timber Engineering.* , Miyazaki, Japan2008., 2008.

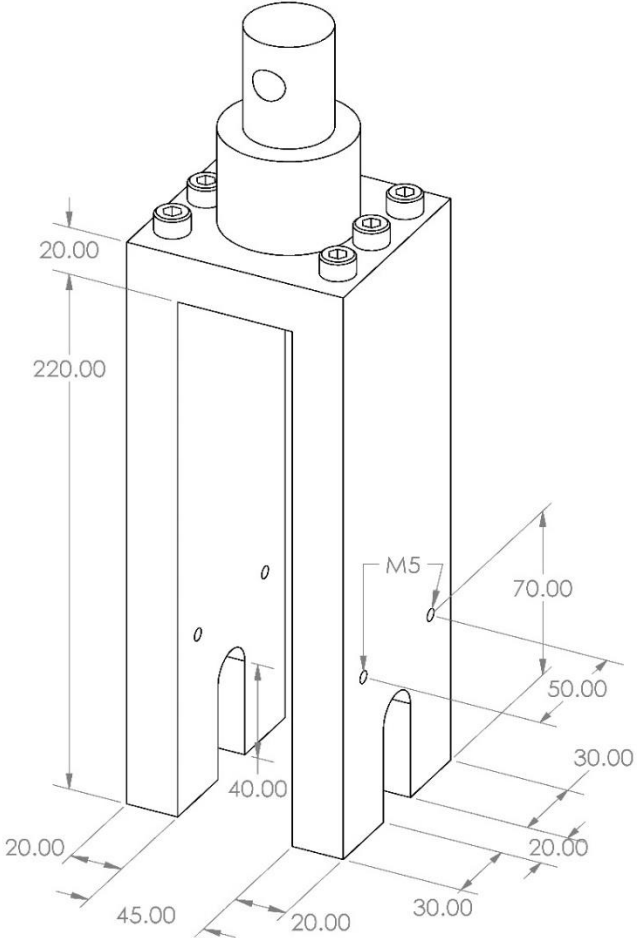
- [14] M. Nakatani og K. Komatsu , «Development and verification of theory on pull-out properties of Lagscrewbolted timber joints.,» i *Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering.*, Lahti, Finland, 2004.
- [15] K. A. Malo , H. Stamatopoulos og M. Cepelka , Effect of rod-to-grain angle on capacity and stiffness of axially and laterally loaded long threaded rods in timber joints., *European journal of wood and wood produkt*, 2018.
- [16] H. J. Blaß og O. Krüger, 639 Schubverstärkung von Holz mit Holzschrauben und Gewindestangen., Karlsruhe: KIT Scientific, 2010.
- [17] European Committee for Standardization, EN 14592:2008+A1:2012: Timber structures- Dowel type fasteners- Requirements., Brussels, Belgium: European Committee for Standardization, 2012.
- [18] Deutsches Institut für Bautechnik, «General building approval—Z-9.1-777—Threaded rods with wood threads as wood connectors,» Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.
- [19] J. KW, Theory of timber connectors., 9 red., vol. 1949, *Int Assoc Bridg Struct Eng.*, 1949, pp. 249-262.
- [20] Standarsd Norge, EN 383:2007;Konstruksjonsvirke - Prøvingsmetoder - Fastleggelse av hullkantkapasitet og grunnverdier for stavformete forbindelsesmidler, European Standard prepared by Technical Committee CEN/TC 124 , 2007.
- [21] European committee for standarization,, ISO 10948:2 Timber structures — Dowel-type fasteners — Part 2: Determination of embedding strength, Brussels: Standard Norge, 2009.
- [22] O. Volkersen, Die nietkraftverteilung in zugbeanspruchten nietverbindungen mit konstanten laschenquerschnitten(The rivet-force distribution in tensionstressed rivet joints with constant adherends thickness), *Luftfahrtforschung* 15, 1938.
- [23] K. Malo og H. Stamatopoulos, Withdrawal stiffness of threaded rods embedded in timber elements, Trondheim, Norway: *Construction and Building Materials*, 2016.
- [24] K. A. Malo, H. Stamatopoulos og M. Cepelka, «Effect of rod-to-grain angle on capacity and stiffness of axially and laterally loaded long threaded rods in timber joints,» i *European Journal of Wood and Wood Products*, GmbH Germany, 2018.
- [25] H. Stamatopolus, Withdrawal properties of threaded rods embedded in glued-laminated timber elements. Dissertation, Trondheim: NTNU, NORwegian University of Sciece and Tecnology, 2016.

- [26] DIBt Deutsches Institut für Bautechnik, «Z-9.1-472 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung,» 12 3 2020. [Internett]. Available:
[https://www.sfsintec.biz/internet/sfsmedien.nsf/70A7DB133D93D30FC125788F00349D44/\\$FILE/Zulassung-Z-9.1-472-g%C3%BCltige_Fassung_2011.pdf](https://www.sfsintec.biz/internet/sfsmedien.nsf/70A7DB133D93D30FC125788F00349D44/$FILE/Zulassung-Z-9.1-472-g%C3%BCltige_Fassung_2011.pdf). [Funnet 10 5 2020].
- [27] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, NS-EN 408:2010+A1 Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties, Norwegian Standard, 2012.
- [28] SN/K 082 European Committee for Standardization, NS-EN 14080:2013+NA Trekonstruksjoner - Limtre og limt laminert heltre - Krav, Standard Norge, 2016.
- [29] metsawood, «www.metsawood,» 10 05 2020. [Internett]. Available:
<https://www.metsawood.com/global/Tools/MaterialArchive/MaterialArchive/MW-KertoLVL-Q-panel-datasheet-EN.pdf>. [Funnet 10 05 2020].
- [30] European committee for standardization ;SN/K 267, ISO 13061-1 Physical and mechanical properties of wood — Test methods for small clear wood specimens — Part 1: Determination of moisture content for physical and mechanical tests, Standard Norge, 2014.
- [31] European standard, NS-EN 14358:2006 Trekonstruksjoner - Beregning og verifisering av karakteristiske verdier, European standard: Standard Norge, 2016.
- [32] F. A. Mischler A, «Pull-out tests on glued-in-rods at high temperatures,» VeniceItaly, 2001.
- [33] P. Ellingsbø og K. A. Malo, «CANTILEVER GLULAM BEAM FASTENED WITH LONG THREADED STEEL RODS,» i *World Conference on Timber Engineering*, Trentino, 2010.

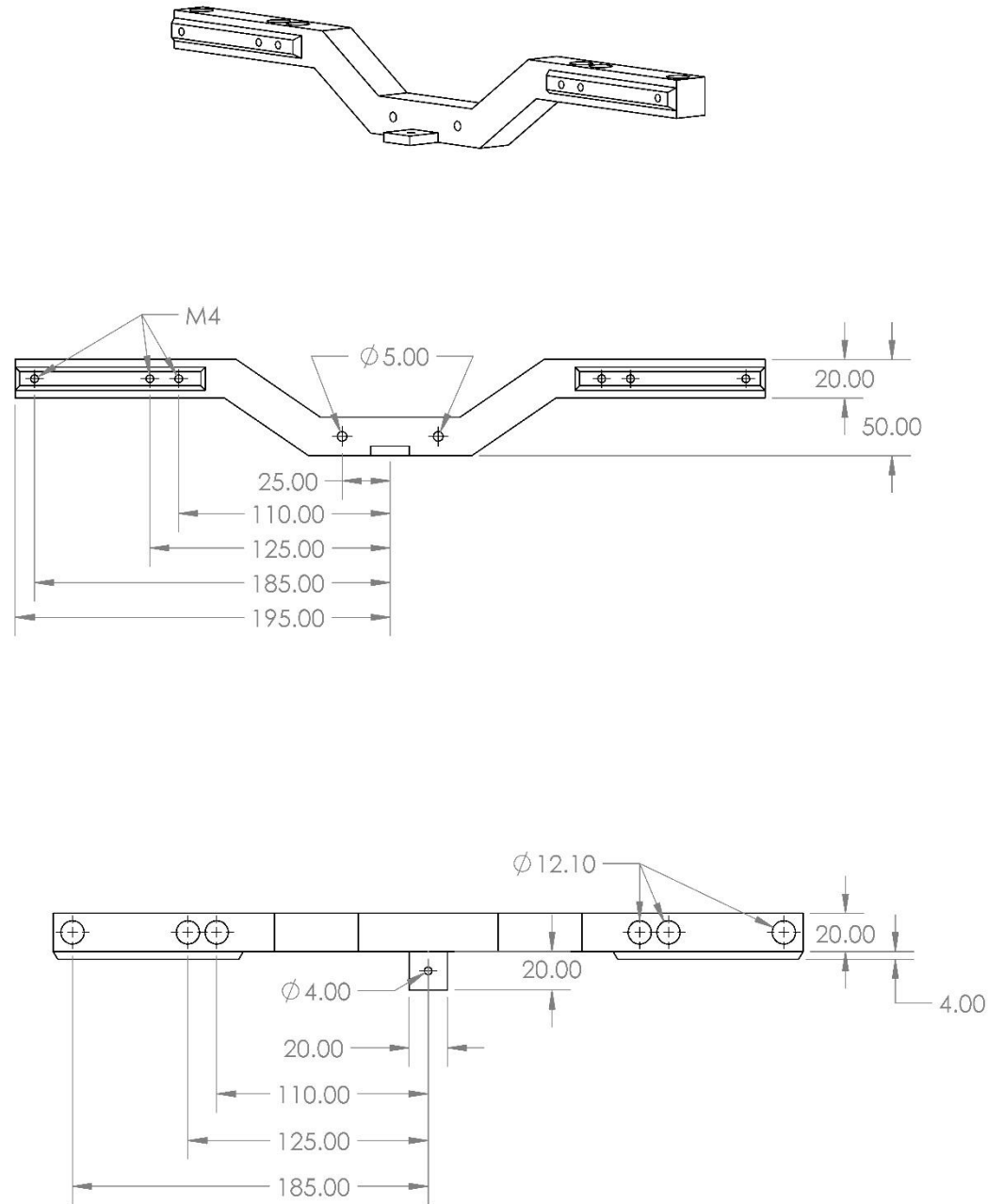
Vedlegg liste

Vedlegg A

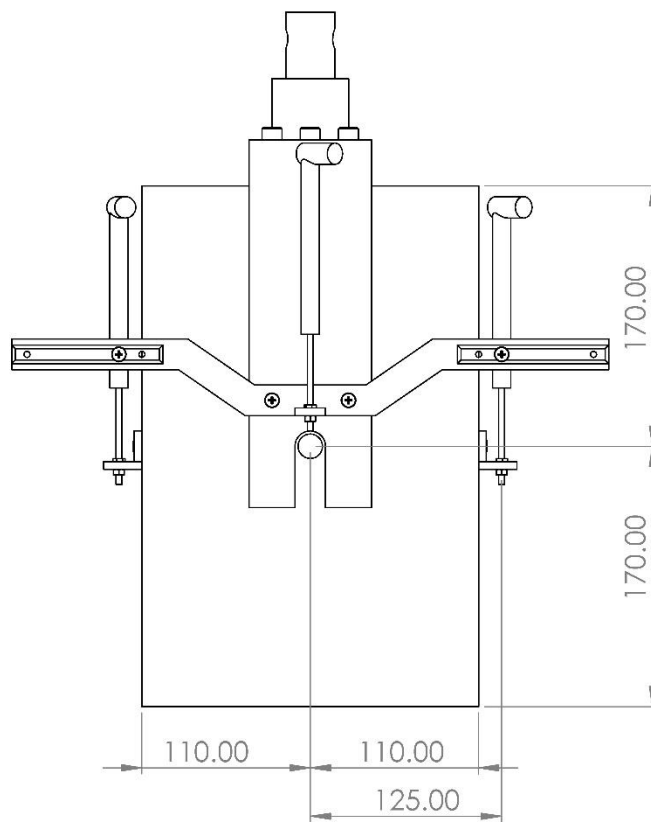
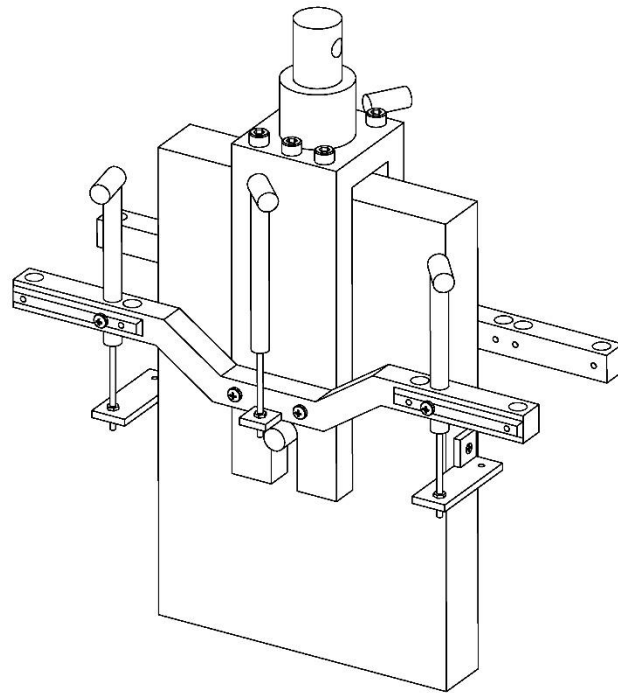
I denne vedlegget presenteres alle materialene ble laget for hullkantfasthet



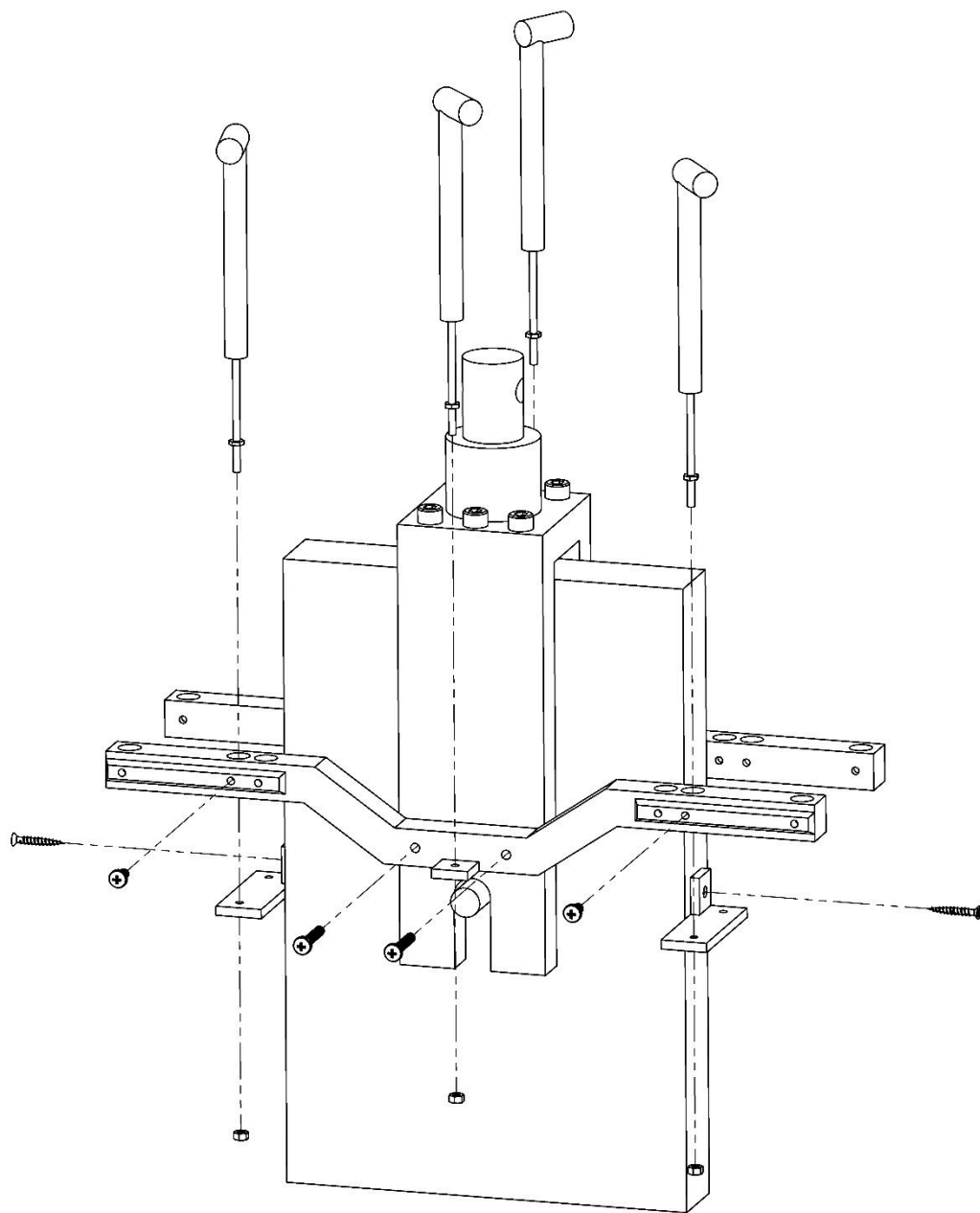
Figur 27: Ståldelen for hullkantfasthet



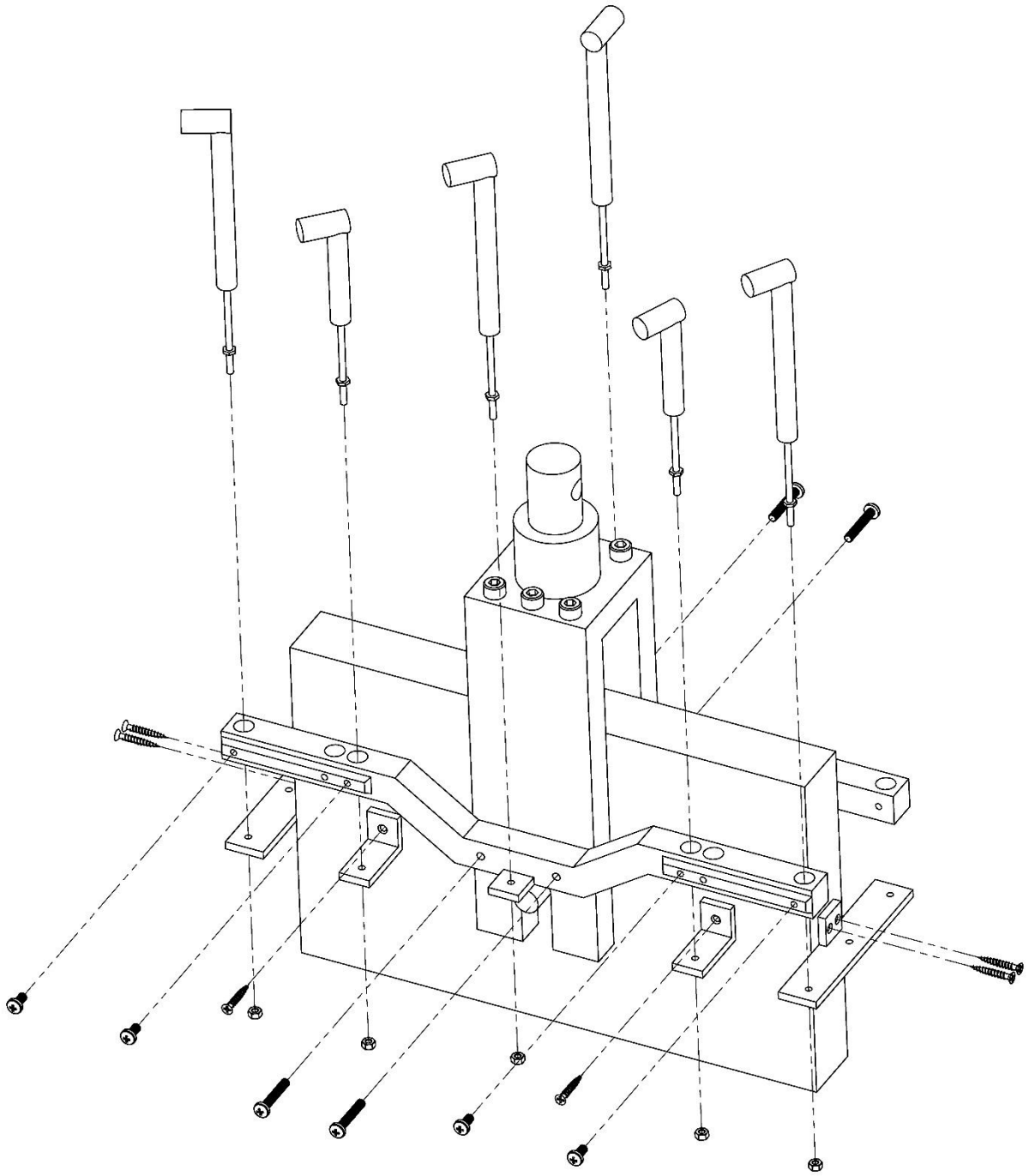
Figur 28: LVDT holder av plastisk. den delen ble laget med 3D-printing



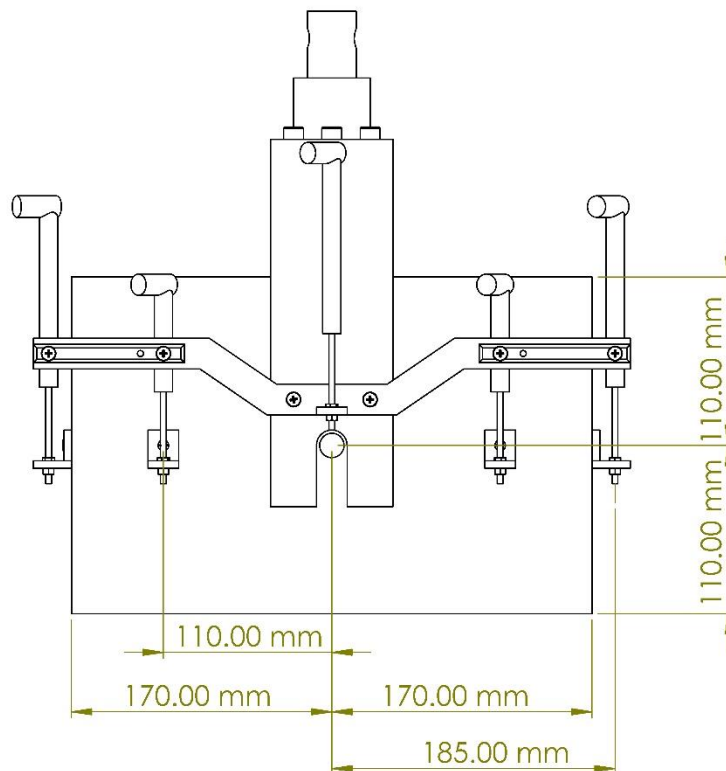
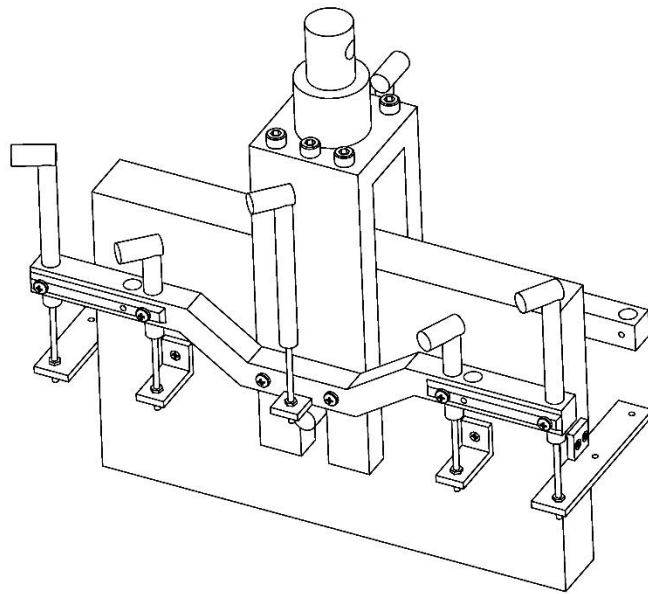
Figur 29: oppsetting av hullkantfasthet i parallell med fiberretning



Figur 30: Oppsett av hullkantfasthet, Parallell med fiberretning



Figur 31:oppsett av hullkantfasthet, vinkelrett på fiberretning



Figur 32: oppsett av hullkantfasthet, normal på fiberretning med målsetting

Vedlegg B

Mål, dimensjon og resultat av hvert enkelt prøvestykke som ble testet i hullkant-testserie.

Tabell 15: Prøvestykkenes dimensjon, og verdiene ble beregnet fra testene

Material	Orientatio	Nr.	Spec.	[kN/mm]	KA	KA2	Fy*	Fy	L [mm]	B [mm]	T [mm]	Mass [g]	Density [g/cm ³]	Density 2 [%]	MC-1 [%]	MC-2 [%]	kh [N/mm ²]	fh* [MPa]	fh [MPa]	fh d1
P	0	1	16	14,40	0,960	12,24	12,38	337,5	212,65	38,15	1369,9	500,3	453,1	11,6	11	377,54	19,93	20,16	31,17	
P	0	2	14	20,02	0,000	16,78	18,04	338,7	211,8	38,25	1387,5	505,7	421,6	13	11,5	523,36	27,25	29,30	29,01	
P	0	4	6	12,95	0,688	13,61	15,97	339,2	213	40,175	1544,5	532,1	439,1	12,2	12,7	322,39	21,04	24,69	30,21	
P	0	5	12	25,19	0,000	16,68	18,63	338,45	212,2	37,725	1262,3	465,9	442,6	11,7	11,2	667,64	27,46	30,67	30,45	
P	0	6	19	19,97	0,133	14,45	17,12	337,7	211,3	38,65	1356,4	491,8	417,8	10,7	12,5	516,69	23,22	27,51	28,75	
P	0	7	30	48,03	0,320	20,06	23,13	339,25	211,3	40,05	1562,7	544,3	489,0	12,9	12,3	1199,25	31,11	35,88	33,64	
P	0	8	39	14,85	0,296	14,82	18,71	346,25	212,4	37,975	1404,6	502,9	439,6	12,3	12,1	390,95	24,24	30,60	30,24	
P	0	9	44	12,91	0,258	12,53	17,76	344,1	211,8	38,1	1285,8	463,1	478,7	11,9	10,6	338,95	20,43	28,96	32,93	
P	0	15	8	17,25	0,115	16,45	19,60	339,35	212,3	39,775	1378,1	480,9	434,6	12,8	12,3	433,64	25,69	30,60	29,90	
P	0	16	29	15,74	0,314	18,33	20,66	339,35	211,95	39,325	1538,8	544,0	525,6	14,8	14,3	400,28	28,95	32,63	36,16	
P	90	1	10	12,40	0,574	8,48	8,76	339,35	212	39,7	1438,6	503,7	559,6	11,4	11,2	312,25	13,27	13,71	24,19	
P	90	2	15	12,30	0,569	10,89	11,34	338,1	212,65	39,075	1506,9	536,4	530,5	12,3	13,1	314,68	17,31	18,02	22,93	
P	90	3	2	15,07	0,300	9,65	10,51	337,8	212,5	40,45	1316,1	453,3	415,1	12,8	11,8	372,54	14,81	16,14	17,95	
P	90	4	22	9,64	0,576	9,12	9,74	338,85	213,3	37,825	1419,9	519,4	500,3	12,1	10,9	254,79	14,98	16,00	21,63	
P	90	5	32	13,12	0,524	10,17	12,64	339,15	212,85	40,05	1449,3	501,3	449,4	11,5	12,7	327,71	15,77	19,60	19,43	
P	90	6	26	9,36	0,434	8,98	9,53	339	212,2	40,125	1384,2	479,6	469,3	12,7	13,5	233,17	13,90	14,75	20,29	
P	90	7	9	10,12	0,337	6,93	8,21	339,3	212,55	39,925	1323,1	459,5	434,2	12,7	11,9	253,40	10,78	12,77	18,77	
P	90	8	23	23,09	0,613	10,11	11,66	339,15	212,35	40,1	1472,2	509,8	404,8	13,9	12,6	575,69	15,66	18,07	17,50	
P	90	9	17	10,47	0,693	8,10	8,29	338,05	212,15	38,75	1339,5	482,0	455,9	11,9	12	270,09	12,99	13,29	19,71	
P	90	11	24	9,26	0,184	11,97	13,53	338,8	212,05	37,925	1268,5	465,6	422,8	12,2	12,3	244,29	19,60	22,16	18,28	
S	0	1	26	7,77	0,000	10,25	10,30	339,4	218,95	39,2	1298	445,6	390,8	10,3	10,7	198,26	16,24	16,31	26,89	
S	0	2	23	9,81	0,000	11,61	11,88	339,55	219,25	39,3	1350,4	461,6	446,7	11,5	11,4	249,61	18,35	18,78	30,73	
S	0	3	11	6,53	0,000	13,34	13,53	340	218,95	39,9	1362,7	458,8	403,8	10,8	11,7	163,62	20,77	21,05	27,78	
S	0	4	35	10,17	0,000	16,63	16,75	339,45	218,8	39	1213,6	419,0	310,1	10	10,5	260,67	26,49	26,68	21,33	
S	0	5	33	25,94	0,000	22,41	22,82	339,45	219,2	39,1	1307	449,2	417,4	11,1	11,6	663,31	35,60	36,25	28,72	
S	0	6	1	5,36	0,000	20,16	21,38	338,95	219,75	39,85	1331,5	448,6	418,8	11,3	10,9	134,60	31,42	33,32	28,81	
S	0	7	24	14,16	0,000	17,11	17,85	339,6	219,15	39,35	1239,1	423,1	327,4	10,6	10,8	359,82	27,01	28,17	22,53	
S	0	8	4	11,43	0,152	19,04	19,35	339	219,2	39,9	1297,9	437,8	373,5	11	10,8	286,40	29,64	30,13	25,70	
S	0	9	16	9,99	0,000	21,27	22,65	339,5	219,8	40,05	1313,1	439,4	416,8	11	10,8	249,36	32,99	35,12	28,68	
S	0	10	21	16,48	0,000	23,01	23,61	339,5	219,5	39,3	1230,2	420,1	444,3	9,8	10,6	419,29	36,37	37,31	30,57	
S	90	1	2	7,44	0,543	9,18	9,40	339,9	218,3	39,175	1287	442,8	408,8	12,1	11,8	189,81	14,56	14,90	17,67	
S	90	2	3	8,97	0,593	9,13	9,45	339,15	218,6	39,875	1268,4	429,1	417,0	10,5	10,8	224,88	14,22	14,72	18,03	
S	90	3	20	21,28	0,283	11,47	12,70	339,55	219	39,225	1350,8	463,1	450,7	11,3	11,5	542,52	18,16	20,12	19,48	
S	90	4	27	7,48	0,296	9,01	10,32	339,4	220,1	39,125	1258,6	430,6	435,7	9,7	10,6	191,15	14,30	16,39	18,83	
S	90	5	31	11,83	0,393	12,44	13,25	339,4	219,85	39	1293,6	444,5	371,6	10,3	10,3	303,22	19,81	21,10	16,06	
S	90	6	25	7,82	0,416	8,44	10,12	339,7	219	39,225	1308,7	448,5	386,2	10,5	10,6	199,48	13,37	16,03	16,70	
S	90	7	6	18,24	0,485	9,66	12,62	339,35	219,55	40	1314,9	441,2	397,3	10,8	10,9	455,88	14,99	19,60	17,17	
S	90	8	12	9,16	0,303	8,55	11,17	340,15	218,95	39,8	1272,4	429,3	423,9	10,5	10,7	230,07	13,35	17,43	18,32	

S	90	9	17	8,47	0,560	8,40	10,22	339,7	218,4	39,575	1331	453,3	404,0	11,6	12,5	214,10	13,19	16,04	17,47
S	90	10	22	9,04	0,540	9,55	9,86	339,8	218,9	39,175	1270,5	436,0	448,3	10,5	10,3	230,81	15,14	15,63	19,38
L	0	1	21	20,22	0,135	24,71	26,45	329,95	220,4	42,15	1600,1	522,0	511,4	13,9	14	479,68	36,41	38,98	35,18
L	0	2	25	24,89	0,165	25,26	27,01	329,1	220	42,15	1615,7	529,4	536,7	14,1	14,3	590,52	37,22	39,80	36,92
L	0	3	28	14,60	0,195	26,17	27,32	327,8	220,05	42,125	1571,7	517,2	529,8	13,7	14,1	346,63	38,59	40,28	36,45
L	0	4	31	18,73	0,125	24,37	25,01	331,7	220,45	42,175	1564,3	507,2	486,4	13,9	13,9	444,09	35,89	36,84	33,47
L	0	5	35	19,31	0,129	26,89	26,93	332,2	220,15	42,125	1598,7	518,9	544,8	14	14	458,46	39,65	39,71	37,48
L	0	6	40	17,78	0,236	22,64	23,49	332,2	220,2	41,975	1562,6	508,9	521,2	13,8	14,1	423,68	33,50	34,76	35,86
L	0	7	45	15,51	0,000	24,75	27,35	331,85	219,8	42,45	1598,4	516,2	527,7	13,6	13,9	365,34	36,21	40,01	36,31
L	0	8	50	21,27	0,000	26,56	28,28	328,35	219,9	42,525	1566,6	510,2	498,3	13,4	13,7	500,22	38,79	41,30	34,28
L	0	9	34	17,17	0,114	25,01	25,11	331,85	220,4	42,075	1568,2	509,6	463,3	13,7	13,8	408,07	36,92	37,06	31,88
L	0	10	29	14,71	0,098	26,35	27,19	327,7	220	42,1	1581,4	521,0	528,1	14	13,7	349,39	38,88	40,11	36,33
L	90	1	22	18,12	0,724	16,23	17,43	329,75	220,35	42,125	1605,3	524,5	509,5	13,6	13,8	430,18	23,93	25,69	22,02
L	90	2	26	12,13	0,645	18,44	18,70	328,65	220,15	42,175	1594,6	522,6	508,5	13,7	14	287,55	27,16	27,55	21,98
L	90	3	30	14,56	0,483	18,58	18,91	327,2	219,05	42	1583,5	526,0	534,3	14,1	14,2	346,59	27,48	27,97	23,10
L	90	4	33	13,97	0,371	18,81	20,06	331,8	220,2	42,2	1597,6	518,2	552,4	13,3	13,8	331,02	27,69	29,53	23,88
L	90	5	39	12,44	0,413	17,23	18,48	332,45	220	42,125	1562,4	507,1	495,3	13,5	13,5	295,22	25,41	27,24	21,41
L	90	6	41	15,62	0,520	17,27	18,04	333,3	220,25	42,55	1621,5	519,1	494,1	13,8	13,8	367,13	25,21	26,34	21,36
L	90	7	44	10,29	0,544	17,68	18,52	332,65	220,2	42,5	1589,1	510,5	497,2	13,8	14	242,23	25,84	27,07	21,49
L	90	8	46	14,44	0,672	18,44	18,91	330,9	220	42,475	1595,9	516,1	501,9	13,4	13,9	340,02	26,97	27,65	21,70
L	90	9	49	25,82	0,344	16,82	19,14	327,65	219,55	42,45	1561,1	511,2	484,3	14,1	14	608,27	24,61	28,00	20,93
L	90	10	37	10,95	0,581	14,37	14,66	332,25	220,3	42,1	1555,8	504,9	493,8	13,2	13,3	260,04	21,20	21,63	21,34

Tabell 16: Prøvestykkenes dimensjon og resultat i hullkantfasthet, som ble testet med dyble

Material	Orientation	Nr.	Spec.	KA [kN/mm]	KA2 [kN/mm]	Fy* [kN]	Fy [kN]	L [mm]	B [mm]	T [mm]	M [g]	Density [kg/m ³]	Density 2 [kg/m ³]	MC-1 [%]	MC-2 [%]	N/mm ²	kh	f _h * [MPa]	f _h [MPa]	fH d1
PD	0	1	28	11,78	0,00	14,82	15,98	339,15	211,4	39,45	1432,6	506,5	449,1	11,80	11,70	298,62	23,33	25,16	30,90	
PD	0	2	36	9,09	0,00	14,10	14,24	344,65	212,4	38,8	1405,4	494,8	411,6	12,80	11,60	234,33	22,57	22,79	28,32	
PD	0	3	37	6,41	0,34	10,09	11,45	345,05	212,3	38,72	1435,5	506,0	407,3	12,50	12,10	165,42	16,18	18,37	28,02	
PD	0	4	46	13,51	0,00	15,91	16,24	340	213,5	39,72	1386,2	480,8	442,4	12,90	12,90	340,18	24,88	25,40	30,44	
PD	0	5	47	20,64	0,00	17,87	18,06	347	213,2	39,52	1321	451,8	440,2	10,80	10,91	522,29	28,08	28,38	30,29	
PD	90	1	33	7,19	0,568	7,27	7,94	345,35	212,7	37,77	1413	509,2	450,6	11,70	11,60	190,31	11,96	13,05	19,48	

PD	90	2	40	7,15	0,42 6	7,18	7,93	346,1	212	36,17 5	1270,2	478,5	443,2	11,40	11,60	197,70	12,32	13,62	19,1 6
PD	90	3	21	11,1 7	0,44 4	8,36	9,04	339,3 5	212,5	40,25	1337,4	460,8	464,6	12,10	11,60	277,47	12,90	13,95	20,0 8
PD	90	4	45	11,6 1	0,77 3	9,56	9,76	340	213	41,05	1406,5	473,1	444,7	12,30	12,40	282,87	14,46	14,77	19,2 2
PD	90	5	5	4,89	0,28 8	8,23	8,36	339,3	213,0 5	39,42 5	1400	491,2	438,7	12,10	11,90	124,02	12,97	13,18	18,9 7
SD	0	1	5	12,8 9	0,00 0	15,7 9	15,9 1	339,1	219,6	39,8	1315,4	443,8	402,9	11,50	11,10	323,97	24,64	24,83	27,7 2
SD	0	2	10	6,93	0,00 0	17,6 8	18,3 1	340	218,9	39,87 5	1300,7	438,3	446,0	11,50	11,70	173,76	27,54	28,52	30,6 8
SD	0	3	13	4,67	0,18 4	17,0 8	17,3 5	339,4 5	219,1 5	39,82 5	1288,2	434,8	419,9	10,70	11,50	117,25	26,64	27,06	28,8 9
SD	0	4	18	10,8 6	0,00 0	17,7 5	17,9 5	339,7 5	219,3 5	39,82 5	1300,2	438,1	402,3	11,80	11,60	272,70	27,68	28,00	27,6 8
SD	0	5	19	6,60	0,04 4	15,1 3	15,9 5	339,5	218,7 5	39,37 5	1294,9	442,8	426,8	10,50	11,00	167,64	23,87	25,16	29,3 6
SD	90	1	7	7,77	0,51 3	9,19	9,44	339,2	218	39,9	1309,5	443,8	380,4	10,50	10,70	194,86	14,30	14,70	16,4 5
SD	90	2	14	4,92	0,62 1	7,44	8,42	339,6 5	219,3 5	39,82 5	1304,2	439,6	419,6	11,30	12,00	123,45	11,60	13,13	18,1 4
SD	90	3	15	5,14	0,51 0	7,42	8,39	339,8 5	218,7	38,67 5	1280,6	445,5	401,1	10,80	11,90	133,02	11,92	13,48	17,3 4
SD	90	4	28	6,70	0,35 7	7,26	8,00	339,6	219,2	39,2	1262,7	432,7	387,4	10,20	11,30	170,98	11,50	12,67	16,7 5
SD	90	5	8	8,21	0,43 7	7,93	8,72	339,5 5	221	40,07 5	1351,7	449,5	426,8	11,20	11,00	204,93	12,29	13,51	18,4 5
SD	90	6	30	7,28	0,52 8	6,42	7,39	339,3 5	218,9	39,4	1282,5	438,2	388,4	10,40	10,60	184,68	10,13	11,64	16,7 9
LV D	0	1	23	15,9 5	0,10 6	22,2 3	22,5 2	329,7 5	220,3 5	42,12 5	1598,1	522,1	506,8	13,60	13,90	378,71	32,78	33,21	34,8 7
LV D	0	2	36	13,2 4	0,35 2	18,9 2	20,6 0	332,1 5	216,1	42,05	1555	515,2	544,8	13,40	13,70	314,85	27,95	30,43	37,4 8
LV D	0	3	38	10,0 7	0,20 0	23,7 4	24,2 3	332,3 5	221,0 5	42,1	1589,4	513,9	512,0	13,70	13,70	239,15	35,02	35,75	35,2 3
LV D	0	4	42	18,1 0	0,48 0	20,0 8	20,5 9	333,2	220,0 5	42,52 5	1590,7	510,2	505,4	13,80	14,00	425,52	29,33	30,07	34,7 7
LV D	0	5	47	11,1 0	0,51 8	19,0 6	21,0 5	330,1	220	42,55	1557	503,9	504,9	13,20	13,50	260,88	27,82	30,73	34,7 4
LV D	90	1	24	13,4 3	0,35 7	15,5 4	16,0 9	329,3	220,2	42,06	1597,4	523,8	505,2	13,90	13,60	319,24	22,95	23,77	21,8 4
LV D	90	2	27	14,2 6	0,56 8	14,9 8	15,2 4	328,3 5	220,1 5	42,27 5	1593,9	521,6	507,9	13,90	14,00	337,24	22,01	22,39	21,9 6
LV D	90	3	32	13,5 5	0,45 0	16,4 3	17,7 8	331,3	220,5	42,17 5	1606,6	521,5	491,8	14,00	14,10	321,31	24,20	26,18	21,2 6
LV D	90	4	43	14,5 8	0,48 3	14,9 4	16,4 7	333,2	220,4 5	42,57 5	1612,7	515,7	550,2	14,40	14,00	342,50	21,80	24,03	23,7 8
LV D	90	5	48	14,0 6	0,56 0	14,7 8	15,6 2	329,0 5	219,8 5	42,57 5	1593,6	517,4	531,1	13,70	13,50	330,25	21,56	22,78	22,9 6

vedlegg C mål og resultat fra trykkfasthet tester

Prøvestykkenes dimensjon og resultat av prøvestykkene som ble testet for trykkfasthet. (parallell med fiberretning).

Tabell 17: Prøvestykkenes dimensjon og resultats, som ble beregnet fra testene.

Compression	Material	Orientation	Nr.	b [mm]	L [mm]	t [mm]	Density [kg/m ³]	Stress [kN/mm ²]	K _{ser,A} [kN/mm]	F _{max} [kN]	K _{ser,m} [kN/mm]	Fest [kN]	Areal [mm ²]	E-modul [MPa]	F _c [MPa]
comp	P	0	1	40,17	49,44	38,95	453,07	31,11	41,87	48,68	22,69	48,68	1564,62	1322,97	31,113
comp	P	0	2	40,27	49,80	39,42	421,63	39,47	89,74	62,65	35,68	62,65	1587,44	2815,15	39,466
comp	P	0	4	39,95	49,61	40,65	439,12	32,82	97,98	53,30	36,06	53,30	1623,97	2993,12	32,821
comp	P	0	5	40,59	50,00	38,83	442,60	36,37	111,99	57,32	36,85	57,32	1576,11	3552,74	36,368
comp	P	0	6	40,32	49,85	39,09	417,83	37,85	101,46	59,65	36,91	59,65	1576,11	3209,03	37,846
comp	P	0	7	40,17	50,28	40,53	488,99	38,86	104,11	63,27	36,42	63,27	1628,09	3215,15	38,861
comp	P	0	8	40,05	49,68	38,11	439,60	29,19	77,79	44,55	31,99	44,55	1526,31	2532,05	29,188
comp	P	0	9	40,62	49,33	39,08	478,66	32,12	88,12	50,99	34,32	50,99	1587,43	2738,24	32,121
comp	P	0	15	40,63	49,52	38,64	434,61	32,64	62,97	51,25	29,22	50,00	1569,94	1986,22	32,644
comp	P	0	16	40,34	49,99	39,90	525,57	38,65	107,75	62,21	37,00	50,00	1609,57	3346,59	38,650
comp	PD	0	1	40,70	49,83	37,85	449,14	39,04	85,26	60,14	23,65	60,14	1540,50	2757,96	39,039
comp	PD	0	2	40,19	49,71	39,71	411,61	31,36	80,07	50,05	33,63	50,05	1595,94	2494,03	31,361
comp	PD	0	3	40,81	49,93	38,28	407,32	29,91	71,07	46,73	32,00	46,73	1562,21	2271,64	29,913
comp	PD	0	4	40,02	49,45	39,65	442,41	29,11	37,72	46,19	17,77	46,19	1586,79	1175,45	29,109
comp	PD	0	5	40,06	50,07	39,15	440,24	30,83	87,71	48,35	34,63	48,35	1568,35	2800,30	30,829
comp	S	0	1	45,16	50,27	39,24	390,81	35,75	134,98	63,36	38,54	63,36	1772,08	3829,12	35,755
comp	S	0	2	44,41	50,17	33,96	446,65	35,89	104,42	54,13	37,54	54,13	1508,16	3473,66	35,891
comp	S	0	3	44,73	50,27	39,81	403,83	37,75	129,90	67,23	41,67	67,23	1780,70	3667,21	37,755
comp	S	0	4	44,14	50,98	39,31	310,09	22,52	72,32	39,07	30,73	39,07	1735,14	2124,88	22,517
comp	S	0	5	45,35	50,38	39,23	417,44	32,37	105,72	57,59	37,15	57,59	1779,08	2993,81	32,371
comp	S	0	6	45,13	50,16	40,12	418,83	35,71	124,14	64,65	40,48	64,65	1810,62	3439,22	35,706
comp	S	0	7	45,21	50,94	39,18	327,42	27,70	68,94	49,07	33,10	49,07	1771,33	1982,68	27,702
comp	S	0	8	44,65	50,26	40,06	373,53	29,41	118,20	52,61	36,60	52,61	1788,68	3321,40	29,413
comp	S	0	9	45,11	50,53	40,05	416,83	37,73	113,34	68,17	39,87	68,17	1806,66	3170,05	37,733
comp	S	0	10	46,04	50,22	39,01	444,28	33,59	111,39	60,33	39,45	60,33	1796,02	3114,70	33,591
comp	SD	0	1	44,88	50,68	40,13	402,87	26,15	85,99	47,09	35,56	47,09	1801,03	2419,78	26,146
comp	SD	0	2	45,47	45,65	39,92	445,96	40,29	155,70	73,14	40,57	73,14	1815,16	3915,65	40,294
comp	SD	0	3	46,27	51,44	39,94	419,88	38,70	177,00	71,52	42,31	71,52	1848,02	4926,70	38,701
comp	SD	0	4	44,78	50,78	40,01	402,35	41,39	149,90	74,16	43,65	74,16	1791,65	4248,62	41,392
comp	SD	0	5	45,08	50,36	39,18	426,77	38,31	131,32	67,66	41,65	67,66	1766,23	3744,29	38,307
comp	LV	0	1B	40,04	48,87	42,17	511,39	29,19	50,31	49,28	26,30	49,28	1688,49	1456,07	29,186
comp	LV	0	2	39,89	49,14	42,04	536,70	33,51	134,52	56,19	39,01	56,19	1676,98	3941,80	33,507
comp	LV	0	3	39,94	49,58	42,09	529,79	33,36	133,18	56,08	38,41	56,08	1681,07	3927,84	33,360
comp	LV	0	4	39,89	49,02	42,46	486,43	32,60	137,34	55,22	41,51	55,22	1693,73	3975,04	32,603
comp	LV	0	5	39,53	49,23	42,24	544,81	33,41	102,48	55,78	36,54	55,78	1669,75	3021,34	33,406
comp	LV	0	6	39,96	49,55	42,21	521,17	35,45	139,15	59,79	39,63	59,79	1686,71	4087,64	35,448
comp	LV	0	7	40,21	49,06	42,61	527,73	33,91	129,36	58,10	40,41	58,10	1713,35	3703,99	33,910

comp	LV	0	8	40,00	49,55	42,60	498,26	27,90	97,11	47,55	36,18	47,55	1704,00	2823,72	27,905
comp	LV	0	9	39,93	48,89	42,28	463,32	33,89	118,96	57,22	38,59	57,22	1688,24	3444,93	33,893
comp	LV	0	10	39,88	49,56	42,08	528,08	36,28	129,26	60,88	39,78	60,88	1678,15	3817,35	36,278
comp	LVD	0	1	39,86	49,56	42,22	506,78	35,68	141,62	60,04	40,53	60,04	1682,89	4170,63	35,677
comp	LVD	0	2	39,74	49,65	42,43	544,80	30,67	115,58	51,71	36,55	51,71	1686,17	3403,43	30,667
comp	LVD	0	3	40,27	49,28	42,33	512,03	33,19	113,61	56,58	37,67	56,58	1704,63	3284,46	33,192
comp	LVD	0	4	40,21	49,33	42,58	505,38	34,35	123,11	58,81	38,51	58,81	1712,14	3547,06	34,349
comp	LVD	0	5	40,21	49,35	42,64	504,89	34,55	137,98	59,23	39,26	59,23	1714,55	3971,38	34,545

Tabell 18: Prøvestykkenes dimensjon i trykkfasthet, og de verdiene ble beregnet fra testen

Compression	Material	Orientation	Nr.	b [mm]	L [mm]	t [mm]	Density [kg/m ³]	Kser,A [kN/mm]	F_max [kN]	Kser,m [kN/mm]	Fest [kN]	Areal [mm ²]	Fy	E-modul	Fc
Comp	P	90	1	44,43	50,57	40,53	497,54	8,818	7,64	6,85	8,00	2049,60	7,734	191,14	3,77342
Comp	P	90	2	44,23	50,83	38,94	536,80	13,527	12,73	11,51	13,00	1979,32	12,89	302,28	6,51234
Comp	P	90	3	44,45	49,61	40,37	432,83	6,261	6,33	5,59	7,00	2002,76	6,328	138,96	3,15965
Comp	P	90	4	44,37	50,37	40,22	483,60	14,372	10,44	11,21	11,00	2025,88	10,46	314,77	5,16318
Comp	P	90	5	44,84	50,55	39,81	509,97	7,129	9,32	6,77	10,00	2012,40	9,455	158,85	4,69838
Comp	P	90	6	45,20	50,23	40,28	451,28	9,185	7,43	4,45	9,00	2023,26	7,496	205,19	3,70490
Comp	P	90	7	44,23	49,86	39,82	446,70	6,872	7,62	3,77	8,00	1985,43	7,629	153,10	3,84250
Comp	P	90	8	44,37	50,37	40,52	526,16	9,345	10,81	6,46	12,00	2040,99	11,115	203,15	5,46303
Comp	P	90	9	44,50	49,86	38,20	446,98	8,194	7,83	7,77	8,00	1904,65	7,92	191,44	4,15824
Comp	P	90	11	44,66	50,53	36,61	431,91	5,595	6,36	4,85	7,50	1849,90	6,383	135,07	3,45045
Comp	PD	90	1	41,40	50,91	38,35	473,74	12,033	12,03	9,13	8,50	1952,40	8,518	255,16	4,36284
Comp	PD	90	2	44,62	50,62	39,12	495,65	6,519	6,519	5,46	8,00	1980,25	7,300	146,90	3,68640
Comp	PD	90	3	43,83	50,50	38,06	537,74	13,097	13,09	7,50	13,00	1922,03	11,70	298,66	6,08731
Comp	PD	90	4	44,79	50,18	40,21	436,35	7,116	7,116	5,70	8,50	2017,74	7,094	157,96	3,51582
Comp	PD	90	5	44,97	50,54	39,56	458,18	7,052	7,052	6,40	8,00	1999,36	6,957	158,62	3,47961
Comp	S	90	1	35,53	50,14	39,71	403,87	5,530	17,90	5,12	6,00	1991,06	4,945	98,686	2,48360
Comp	S	90	2	43,56	50,19	40,28	382,97	9,387	17,05	7,44	8,00	2021,65	7,876	202,252	3,89582
Comp	S	90	3	31,99	50,10	39,34	495,64	19,530	46,58	13,19	10,00	1970,93	10,86	316,983	5,51008
Comp	S	90	4	44,20	49,80	39,45	391,79	9,384	16,71	7,59	9,50	1964,61	9,298	211,129	4,73275
Comp	S	90	5	44,49	50,45	39,36	377,10	10,323	35,85	7,93	8,00	1985,71	8,797	231,286	4,43015
Comp	S	90	6	44,49	51,24	39,05	382,17	8,073	10,64	6,76	8,20	2000,92	8,053	179,497	4,02464
Comp	S	90	7	45,14	50,92	40,12	441,73	15,437	54,32	10,49	10,50	2042,91	10,36	341,089	5,07120
Comp	S	90	8	31,88	50,87	40,17	409,96	8,586	22,46	6,78	8,00	2043,45	7,491	133,958	3,66586
Comp	S	90	9	34,64	50,65	39,79	435,12	11,291	27,74	8,38	8,50	2015,36	8,409	194,074	4,17245
Comp	S	90	10	41,41	50,04	39,35	0,00	8,097	40,01	6,82	9,00	1969,07	6,299	170,288	3,19897
Comp	SD	90	1	43,86	51,07	40,14	393,25	9,662	23,05	7,75	8,00	2049,95	7,329	206,717	3,57521
Comp	SD	90	2	40,34	50,50	39,96	419,92	5,756	11,63	5,18	7,00	2017,98	6,697	115,069	3,31867

Comp	SD	90	3	45,19	51,12	38,55	383,85	5,065	14,05	4,28	7,00	1970,68	6,356	116,136	3,22529
Comp	SD	90	4	45,12	51,18	39,25	374,55	8,710	24,89	7,43	9,00	2008,82	8,423	195,643	4,19302
Comp	SD	90	5	40,86	50,15	39,73	416,99	6,014	38,58	5,05	7,00	1992,46	6,349	123,337	3,18651
Comp	SD	90	6	40,48	50,50	39,32	387,40	5,467	29,83	5,12	6,00	1985,66	5,547	111,443	2,79353
Comp	LV	90	1	45,01	50,62	42,49	520,33	22,92	29,62	16,45	29,62	2150,84	-	479,72	13,77134
Comp	LV	90	2	44,06	51,07	42,14	551,04	48,17	31,93	24,31	31,93	2152,09	-	986,14	14,83674
Comp	LV	90	3	44,14	50,79	42,11	529,27	35,61	27,45	21,35	27,45	2138,77	-	734,82	12,83450
Comp	LV	90	4	45,24	50,46	40,47	535,79	52,71	30,81	26,85	30,81	2042,12	-	1167,78	15,08729
Comp	LV	90	5	44,45	50,77	40,37	501,08	63,09	29,21	26,59	29,21	2049,58	-	1368,33	14,25167
Comp	LV	90	6	44,83	50,93	40,54	512,43	48,78	29,02	22,13	29,02	2064,70	-	1059,03	14,05530
Comp	LV	90	7	45,13	51,23	40,44	516,61	59,72	32,42	27,32	32,42	2071,74	-	1300,89	15,64867
Comp	LV	90	8	45,13	50,68	40,48	512,94	39,81	29,66	23,53	29,66	2051,53	-	875,75	14,45753
Comp	LV	90	9	44,73	51,52	40,43	504,42	34,71	28,28	19,81	28,28	2082,95	-	745,41	13,57687
Comp	LV	90	10	44,64	50,93	40,59	502,10	31,91	26,56	19,79	26,56	2067,25	-	688,97	12,84799
Comp	LVD	90	1	44,23	50,54	40,15	538,38	54,36	30,38	27,21	30,38	2029,18	-	1184,78	14,97156
Comp	LVD	90	2	44,43	50,55	40,26	538,81	23,29	30,84	11,83	30,84	2035,14	-	508,50	15,15373
Comp	LVD	90	3	45,09	50,43	40,43	503,06	51,65	27,39	25,65	27,39	2038,88	-	1142,14	13,43381
Comp	LVD	90	4	44,54	50,68	40,06	510,38	28,92	27,74	11,96	27,74	2030,24	-	634,45	13,66340
Comp	LVD	90	5	44,38	50,20	40,14	523,65	45,14	27,32	24,18	27,32	2015,03	-	994,22	13,55812

Vedlegg D Densitet

Her ble presentert dimensjon på kubene, ble saget for tetthet test.

Tabell 19: Dimensjon, vekt og tetthet

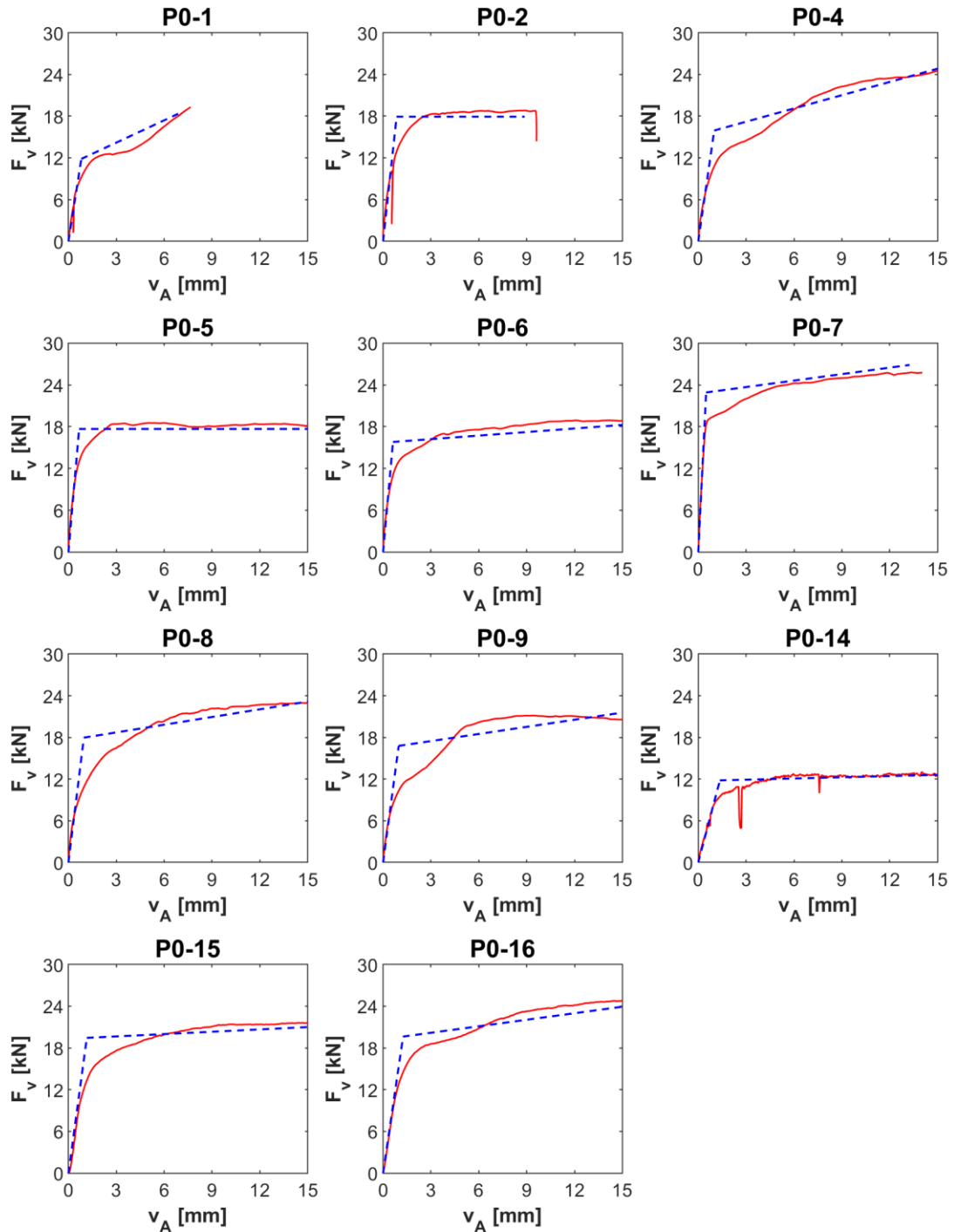
material	Retning	prøve nr	spec.	A					B					Gj.Snitt
				L	B	H	Mass	Densitet A	L	B	H	Mass	Densitet B	
LV	0	1	21	19,69	19,63	19,93	3,82	496,03	19,84	19,71	19,72	4,06	526,75	511,39
LV	0	2	25	19,80	19,83	19,74	4,01	516,73	20,01	19,96	19,97	4,44	556,67	536,70
LV	0	3	28	20,01	19,65	20,01	4,38	556,82	19,85	19,93	19,94	3,97	502,76	529,79
LV	0	4	31	19,99	19,64	19,88	3,81	488,02	19,69	19,87	19,78	3,75	484,83	486,43
LV	0	5	35	20,02	19,84	19,90	4,25	537,43	19,85	19,99	19,99	4,38	552,19	544,81
LV	0	6	40	19,84	19,56	19,63	3,92	514,19	19,89	19,60	20,01	4,12	528,15	521,17
LV	0	7	45	19,50	19,82	19,89	4,17	541,93	19,86	19,63	19,89	3,98	513,53	527,73
LV	0	8	50	20,11	20,00	19,96	3,98	495,27	20,04	20,02	20,01	4,02	501,24	498,26
LV	0	9	34	19,59	19,71	19,51	3,61	478,82	19,44	19,76	19,66	3,38	447,82	463,32
LV	0	10	29	19,70	19,39	19,82	3,97	524,24	19,70	19,42	19,71	4,01	531,93	528,08
LVD	0	1	23	20,77	20,79	20,91	4,57	505,81	20,98	20,81	21,03	4,66	507,76	506,78
LVD	0	2	36	21,12	20,81	21,27	4,96	530,90	20,90	20,05	21,10	4,94	558,71	544,80
LVD	0	3	38	19,36	19,66	19,70	3,89	519,19	19,47	19,76	19,77	3,84	504,86	512,03
LVD	0	4	42	19,85	20,08	20,29	4,06	501,65	19,96	20,00	20,08	4,08	509,11	505,38
LVD	0	5	47	19,71	19,54	19,67	3,80	501,48	19,67	19,52	19,44	3,79	508,30	504,89

LVL	90	1	22	24,65	20,21	20,50	5,25	513,78	24,66	20,35	20,66	5,24	505,22	509,50
LV	90	2	26	24,98	20,55	20,60	5,27	498,54	24,86	20,49	20,52	5,42	518,44	508,49
LV	90	3	30	24,67	20,21	20,62	5,60	545,10	24,70	20,39	20,68	5,45	523,57	534,33
LV	90	4	33	25,19	20,57	20,50	5,74	540,66	25,20	20,47	20,46	5,95	564,04	552,35
LV	90	5	39	24,47	20,88	20,78	5,32	501,07	24,57	20,68	21,07	5,24	489,45	495,26
LV	90	6	41	25,02	20,55	20,80	5,31	496,33	25,10	20,45	20,55	5,19	491,93	494,13
LV	90	7	44	24,94	20,47	20,68	5,15	488,08	25,13	20,44	20,64	5,37	506,23	497,16
LV	90	8	46	24,80	20,79	20,66	5,40	506,57	24,56	20,26	20,90	5,17	497,23	501,90
LV	90	9	49	24,55	20,35	20,71	5,06	488,57	24,58	20,79	20,18	4,95	480,01	484,29
LVD	90	10	37	24,98	20,45	20,46	5,10	488,24	25,01	20,59	20,54	5,28	499,28	493,76
LVD	90	1	24	25,08	20,66	20,41	5,23	494,54	25,09	20,51	20,73	5,50	515,77	505,15
LVD	90	2	27	24,67	20,78	20,55	5,31	504,04	24,60	20,73	20,65	5,39	511,84	507,94
LVD	90	3	32	24,44	20,50	20,95	5,14	489,79	24,58	20,51	20,83	5,19	493,85	491,82
LVD	90	4	4	24,53	20,61	20,75	5,70	543,26	24,57	20,54	20,56	5,78	557,15	550,20
LVD	90	5	48	24,52	20,53	20,63	5,61	539,81	24,57	20,58	20,76	5,48	522,32	531,07
S	0	1	26	20,17	20,02	24,75	3,94	394,43	20,12	20,10	24,92	3,90	387,18	390,81
S	0	2	23	25,87	20,93	21,05	5,17	453,78	22,70	21,00	21,21	4,44	439,53	446,65
S	0	3	11	20,53	20,24	20,42	3,42	403,30	20,38	20,28	20,35	3,40	404,36	403,83
S	0	4	35	20,36	20,68	20,92	2,70	306,87	20,38	20,57	20,96	2,75	313,31	310,09
S	0	5	33	20,08	20,33	39,25	6,28	391,69	20,09	20,17	39,39	7,07	443,19	417,44
S	0	6	1	20,62	20,86	32,81	5,82	412,11	20,72	20,69	33,24	6,06	425,55	418,83
S	0	7	24	19,94	19,70	19,98	2,60	330,64	19,91	19,90	19,86	2,55	324,20	327,42
S	0	8	4	24,26	24,17	24,09	5,26	372,23	24,04	24,25	21,44	4,69	374,83	373,53
S	0	9	16	25,15	21,05	21,07	4,75	426,19	25,18	21,07	21,02	4,54	407,46	416,83
S	0	10	21	20,39	20,43	20,30	3,76	445,11	20,57	20,32	20,48	3,80	443,44	444,28
SD	0	1	5	20,60	28,63	20,55	4,90	404,21	20,81	28,58	20,43	4,88	401,54	402,87
SD	0	2	10	20,15	20,25	20,47	3,61	431,97	20,23	20,41	20,43	3,88	459,96	445,96
SD	0	3	13	25,76	21,72	21,74	4,85	398,65	23,52	21,72	21,70	4,89	441,12	419,88
SD	0	4	18	20,49	20,61	20,56	3,49	401,84	20,55	20,56	20,51	3,49	402,86	402,35
SD	0	5	19	26,09	21,75	21,49	5,23	428,96	22,96	21,80	21,90	4,65	424,57	426,77
S	90	1	2	24,41	20,64	20,55	4,26	411,26	24,86	20,56	20,66	4,29	406,26	408,76
S	90	2	3	24,49	24,61	20,66	4,88	391,51	24,43	20,55	24,75	5,50	442,56	417,04
S	90	3	20	24,29	19,78	19,89	4,18	437,51	24,14	19,91	19,88	4,43	463,85	450,68
S	90	4	21	24,83	19,39	20,52	4,32	437,07	24,79	20,30	20,49	4,48	434,28	435,67
S	90	5	31	24,21	26,01	20,17	4,84	381,31	24,52	25,95	20,12	4,63	361,81	371,56
S	90	6	25	39,22	25,25	20,92	8,07	389,68	39,21	25,28	21,05	7,99	382,79	386,23
S	90	7	6	45,43	25,46	21,04	9,63	395,88	45,31	25,55	20,89	9,64	398,66	397,27
S	90	8	12	24,66	20,95	20,77	4,57	425,71	24,63	20,98	20,51	4,47	422,05	423,88
S	90	9	17	24,49	20,82	21,01	4,36	407,09	24,67	20,76	20,96	4,30	400,94	404,02
S	90	10	22	24,61	20,61	20,92	4,65	438,42	24,65	20,70	21,09	4,93	458,22	448,32
SD	0	1	7	43,86	21,19	25,36	8,78	372,69	43,47	25,57	20,78	8,97	388,18	380,43
SD	0	2	14	24,35	20,41	20,43	4,46	438,97	24,21	20,89	20,88	4,23	400,19	419,58
SD	0	3	15	25,28	21,24	21,33	4,52	394,65	25,39	21,19	21,21	4,65	407,49	401,07
SD	0	4	28	39,12	25,36	20,98	8,14	390,84	39,26	25,43	21,04	8,07	383,94	387,39
SD	0	5	8	24,97	20,69	20,51	4,69	442,43	24,71	20,84	20,76	4,40	411,21	426,82
SD	0	6	30	24,69	20,50	20,55	4,06	390,34	24,64	20,35	20,64	4,00	386,40	388,37
P	0	1	16	20,33	20,12	20,14	3,71	450,35	20,15	20,37	20,05	3,75	455,79	453,07
P	0	2	14	20,26	20,16	31,65	5,49	424,45	20,16	20,25	31,66	5,41	418,80	421,63

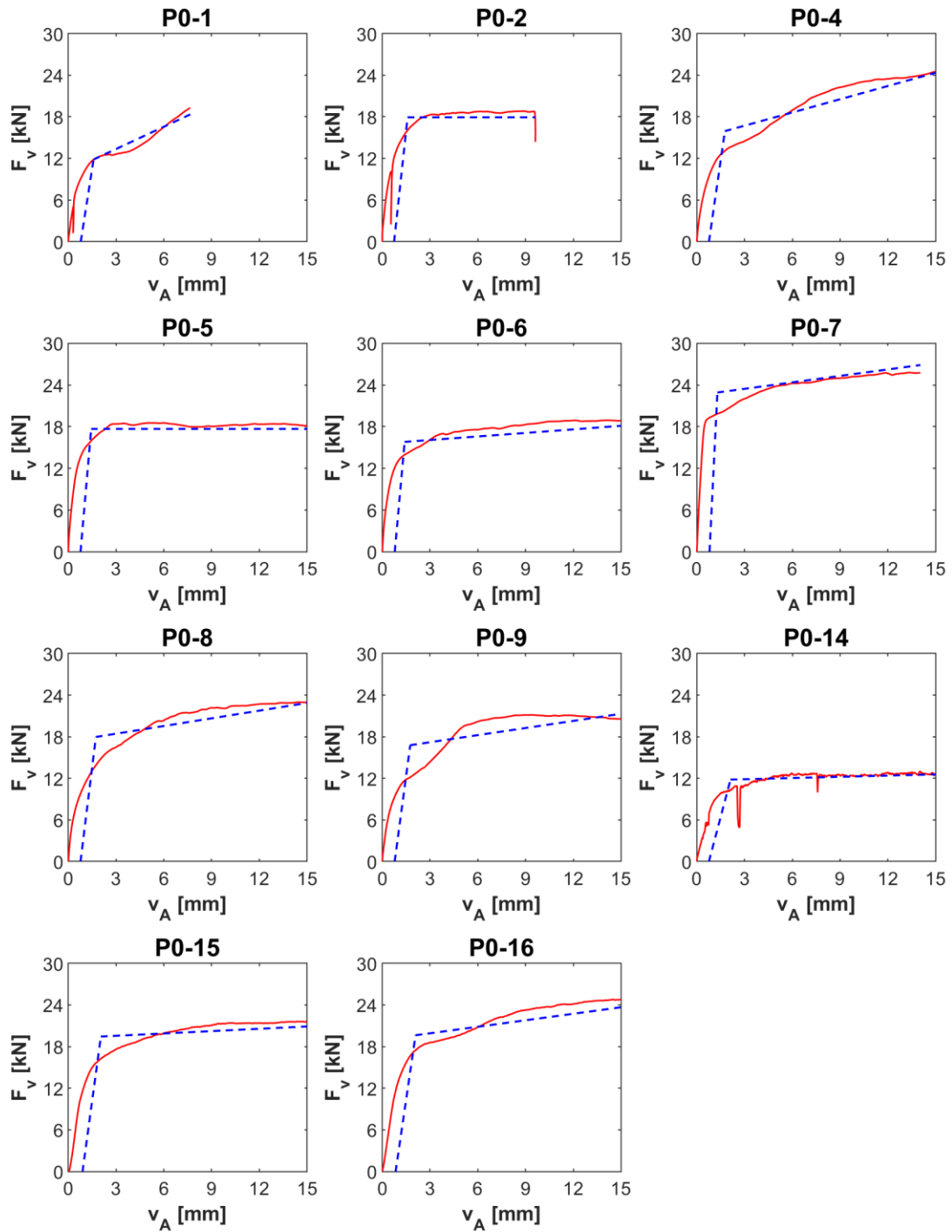
P	0	4	6	20,63	20,48	20,57	3,74	430,80	20,58	20,69	20,46	3,90	447,44	439,12
P	0	5	12	20,35	20,25	39,23	7,10	439,44	20,07	20,45	39,20	7,17	445,77	442,60
P	0	6	19	20,13	20,13	20,28	3,29	399,99	20,17	20,39	20,27	3,63	435,68	417,83
P	0	7	30	20,50	19,96	20,36	4,06	487,58	20,22	20,05	20,26	4,03	490,40	488,99
P	0	8	39	20,19	20,42	20,31	3,66	437,10	20,10	20,07	20,23	3,61	442,11	439,60
P	0	9	44	20,27	20,18	29,95	5,90	481,27	20,25	19,98	29,91	5,76	476,06	478,66
P	0	15	8	20,27	20,19	20,11	3,53	428,31	19,76	20,03	20,28	3,54	440,90	434,61
P	0	16	29	20,26	20,13	20,34	4,46	538,01	20,41	20,09	20,19	4,25	513,13	525,57
PD	0	1	28	20,48	20,48	20,50	3,83	445,44	20,22	20,67	20,49	3,88	452,84	449,14
PD	0	2	36	19,28	19,25	39,47	6,03	411,36	19,22	19,33	39,63	6,06	411,86	411,61
PD	0	3	37	20,11	20,05	20,03	3,29	407,37	20,01	20,01	20,20	3,29	407,27	407,32
PD	0	4	46	20,12	20,00	28,72	5,11	442,42	20,15	20,06	28,52	5,10	442,40	442,41
PD	0	5	47	20,28	20,22	20,34	3,66	438,45	20,26	20,27	20,30	3,69	442,03	440,24
P	90	1	10	24,59	20,91	20,84	5,69	530,92	24,74	20,88	21,04	6,39	588,21	559,56
P	90	2	15	25,12	21,18	21,40	6,01	527,94	24,47	21,50	21,00	5,89	533,03	530,49
P	90	3	2	25,53	21,27	21,00	5,19	455,47	25,57	21,27	21,17	4,32	374,77	415,12
P	90	4	22	24,58	20,50	20,90	5,62	533,55	24,75	20,74	20,52	4,92	467,09	500,32
P	90	5	32	25,75	21,16	21,08	5,11	444,98	25,79	21,05	21,07	5,19	453,91	449,44
P	90	6	26	24,82	20,65	20,41	4,89	467,56	24,79	20,49	20,42	4,89	471,06	469,31
P	90	7	9	24,80	21,44	21,68	5,06	439,12	24,81	21,34	21,81	4,96	429,19	434,16
P	90	8	23	24,83	21,06	21,00	4,48	408,06	24,95	21,04	21,35	4,50	401,60	404,83
P	90	9	17	24,79	20,71	20,46	4,80	456,58	24,80	20,72	20,81	4,87	455,24	455,91
P	90	11	24	24,95	20,88	20,81	4,61	424,77	24,88	20,73	20,83	4,52	420,82	422,80
PD	90	1	33	24,67	20,75	21,01	4,81	447,32	24,90	20,89	20,75	4,90	453,89	450,61
PD	90	2	40	24,70	21,14	20,87	4,84	443,96	24,74	20,99	21,14	4,86	442,44	443,20
PD	90	3	21	24,48	20,98	20,68	5,09	479,05	24,38	21,15	20,92	4,86	450,17	464,61
PD	90	4	45	25,15	21,12	21,35	5,06	446,01	24,97	21,10	21,15	4,94	443,32	444,67
PD	90	5	5	24,63	20,25	20,46	4,39	430,49	24,74	20,43	20,21	4,57	446,99	438,74

Vedlegg E Last forskyvningskurve for individuelle tester

Last forskyvningskurver for hullkant-tester.

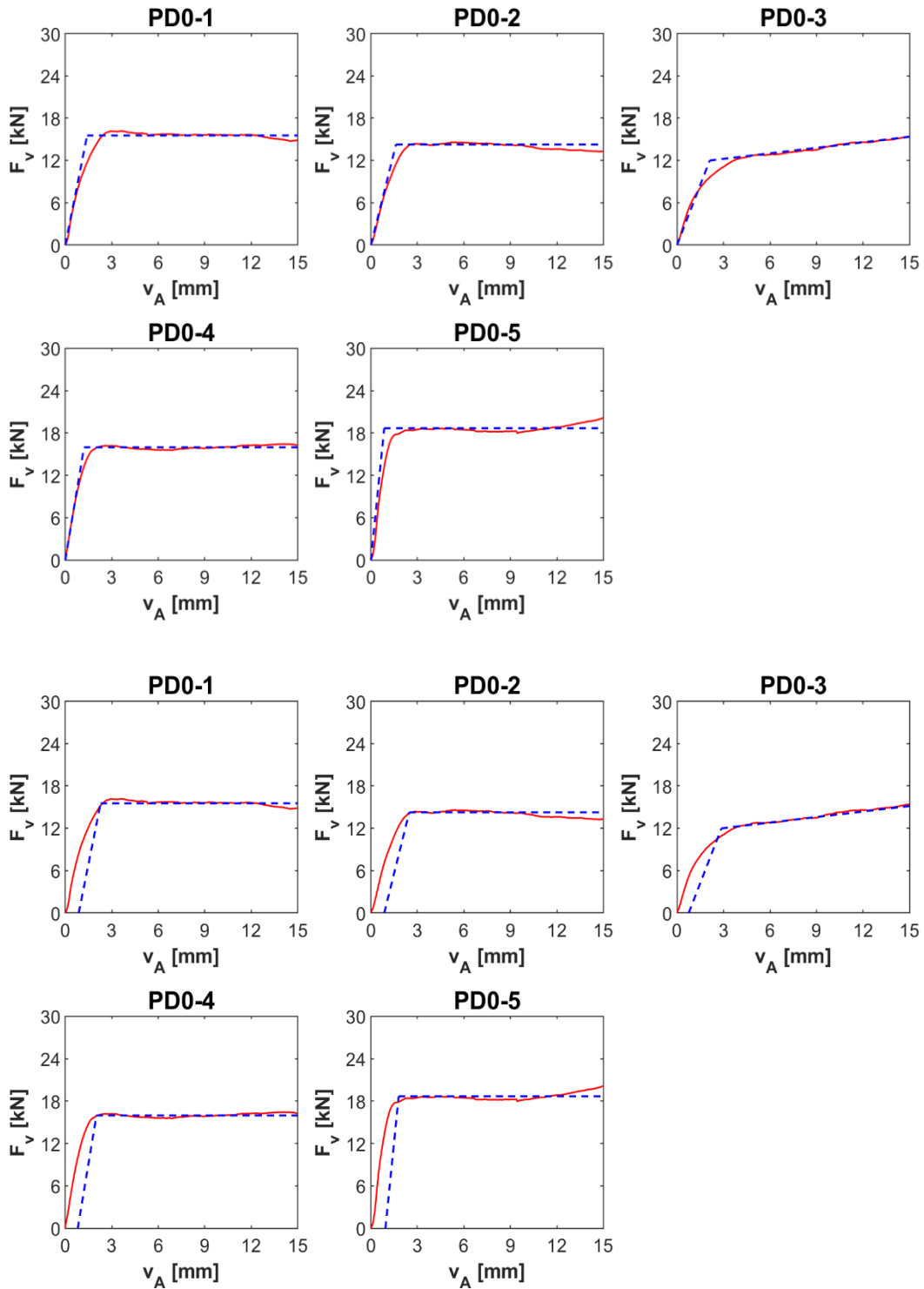


Figur 33: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning. Furu.



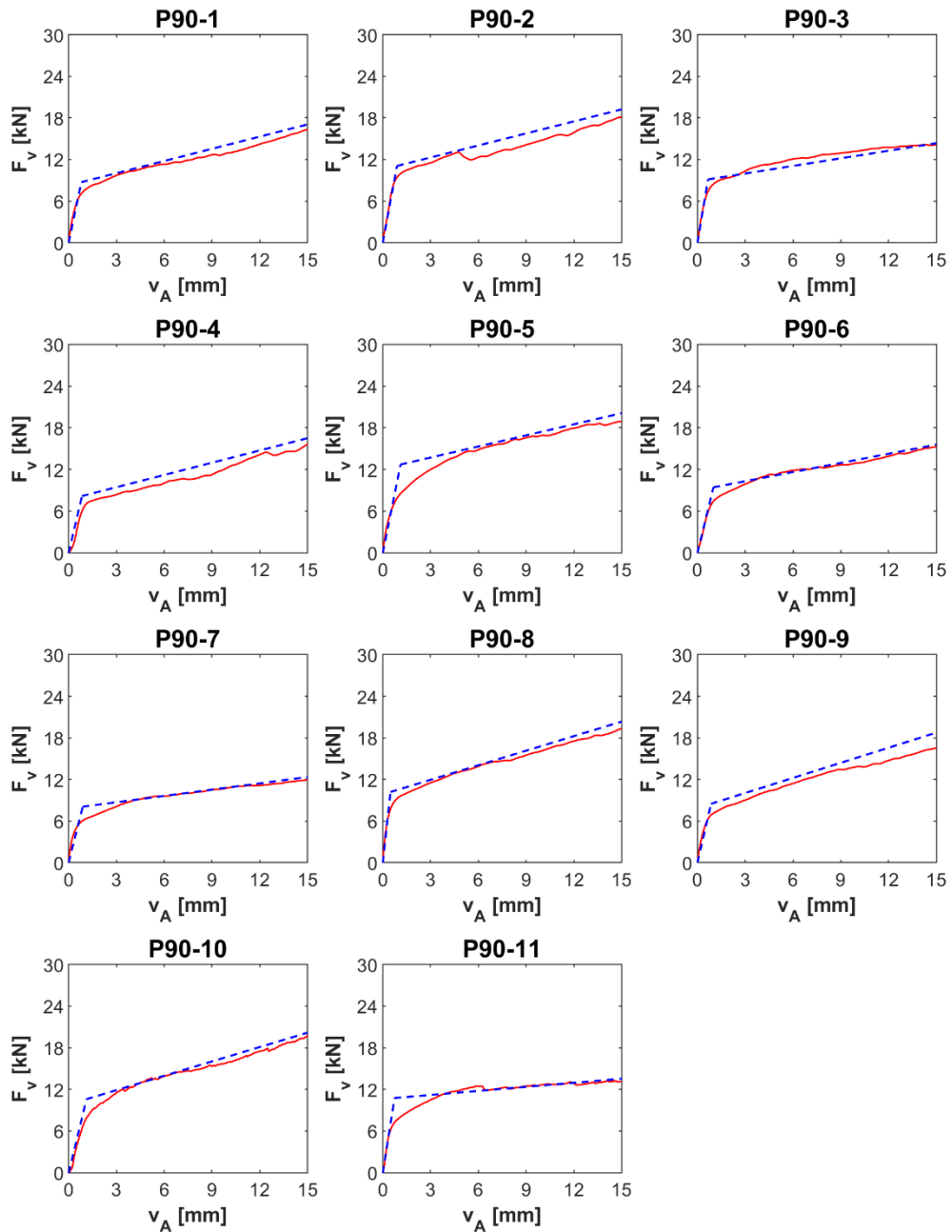
Figur 34: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med gjengestenger. Test materialet er laget av furu.

Last forskyvningskurve i parallell med fiberretning for furu, og dyble som forbindere.

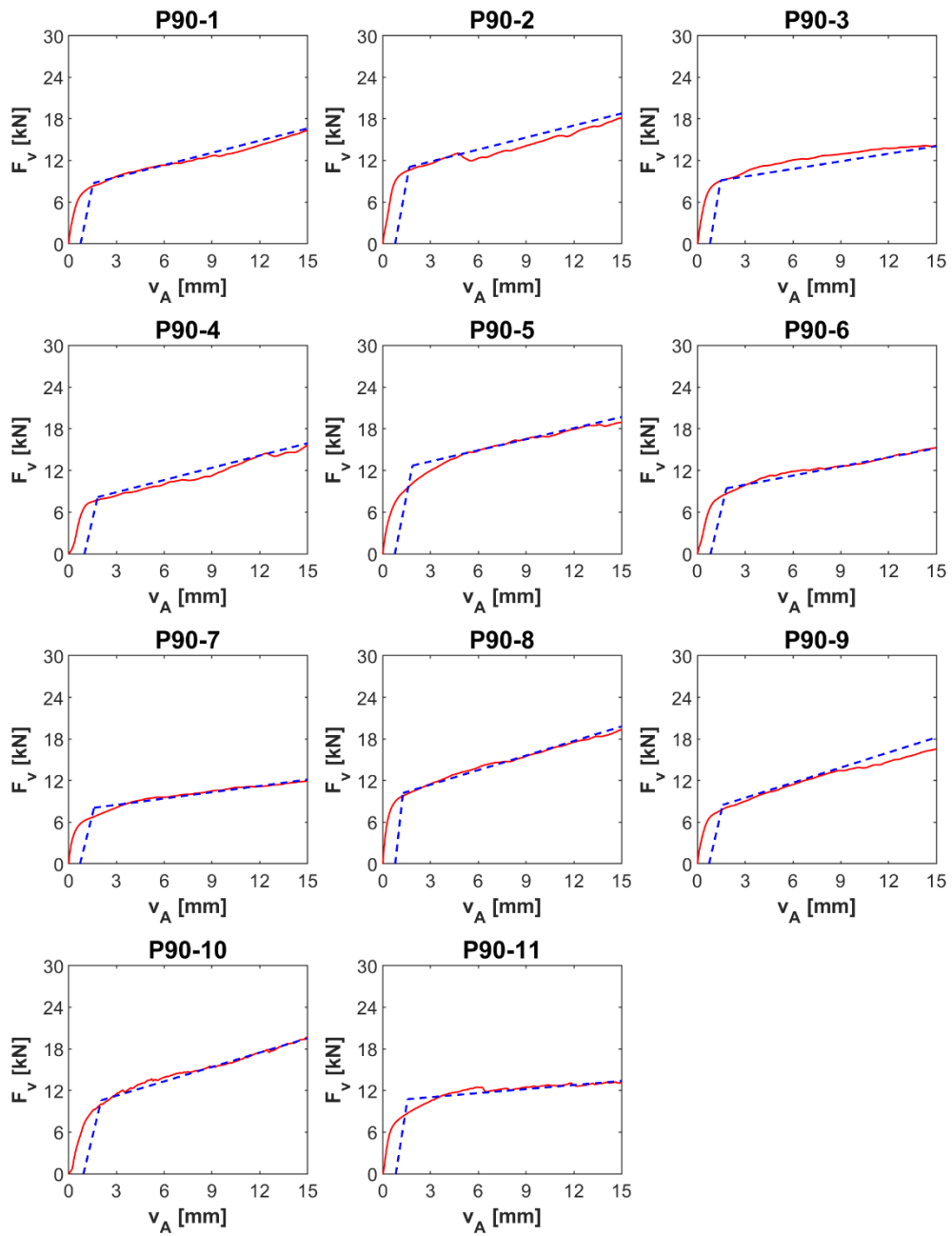


Figur 35: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med dyble . Prøvestykkene er laget av furu.

Last forskyvningskurve serien med gjengestenger normal på fiberretning, prøvestykkene ble laget av furu.

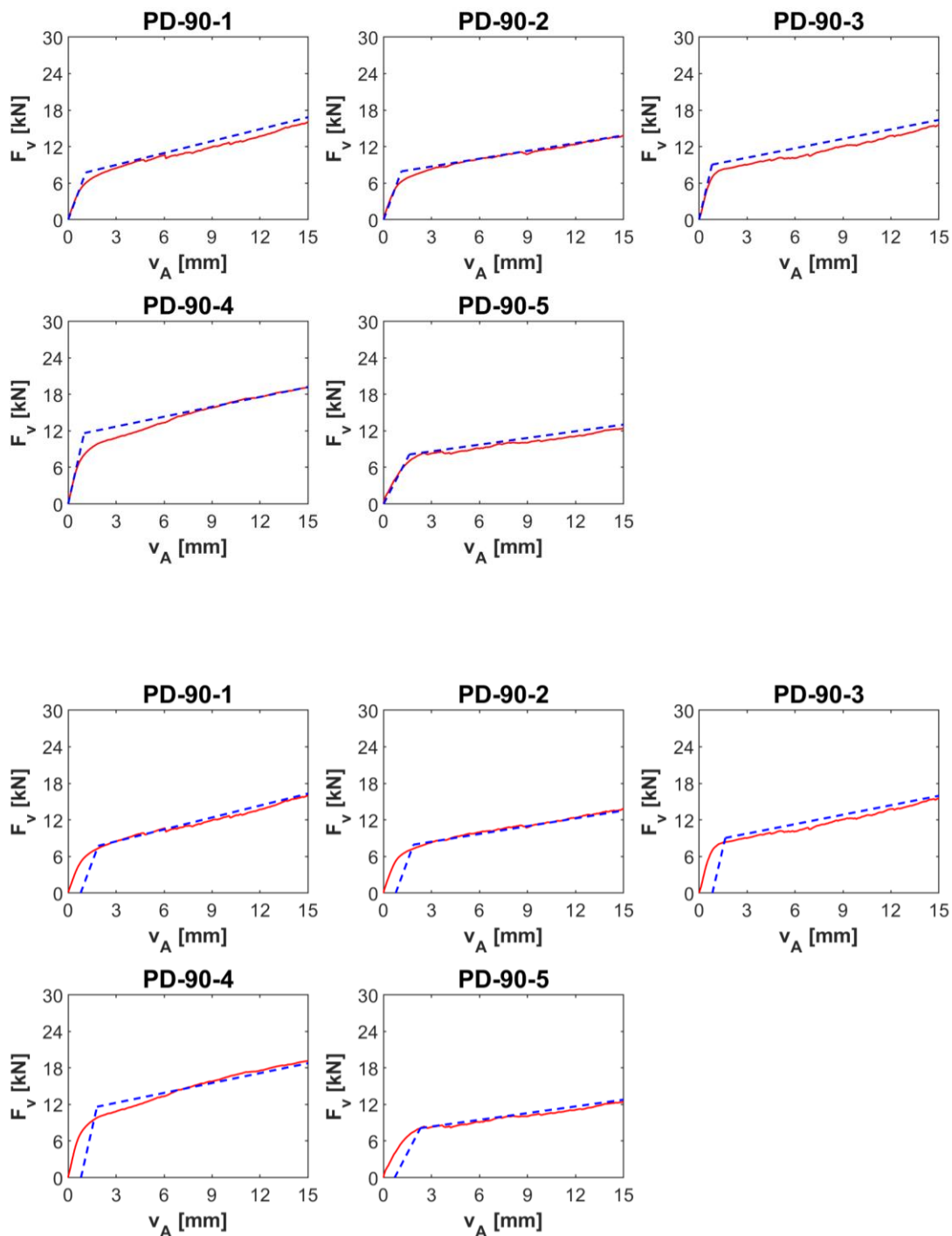


Figur 36: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av furu.



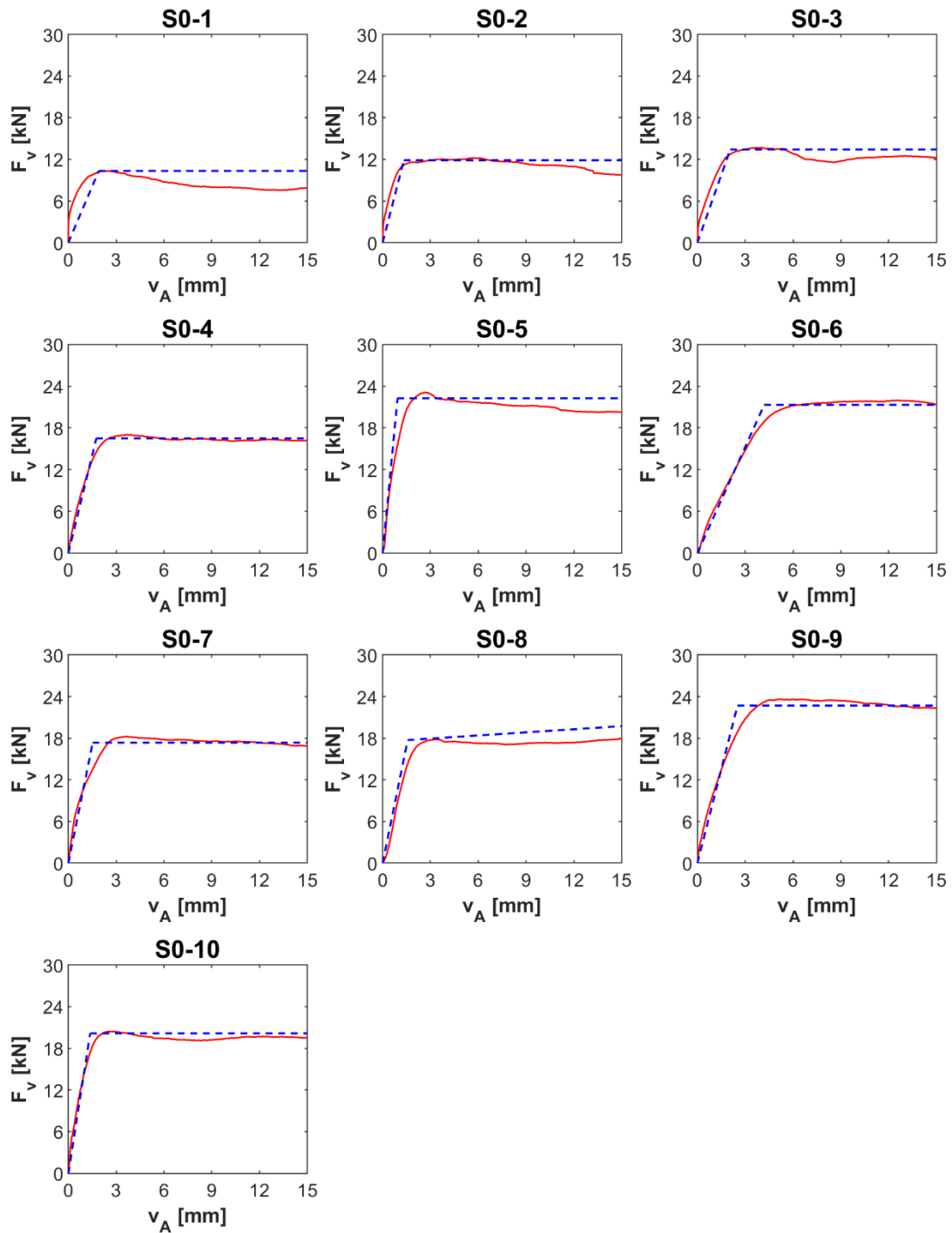
Figur 37: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av furu. Blå linjen indikerer på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [21]

Last forskyvningskurve serien med dybler normal på fiberretning, prøvestykkene ble laget av furu.

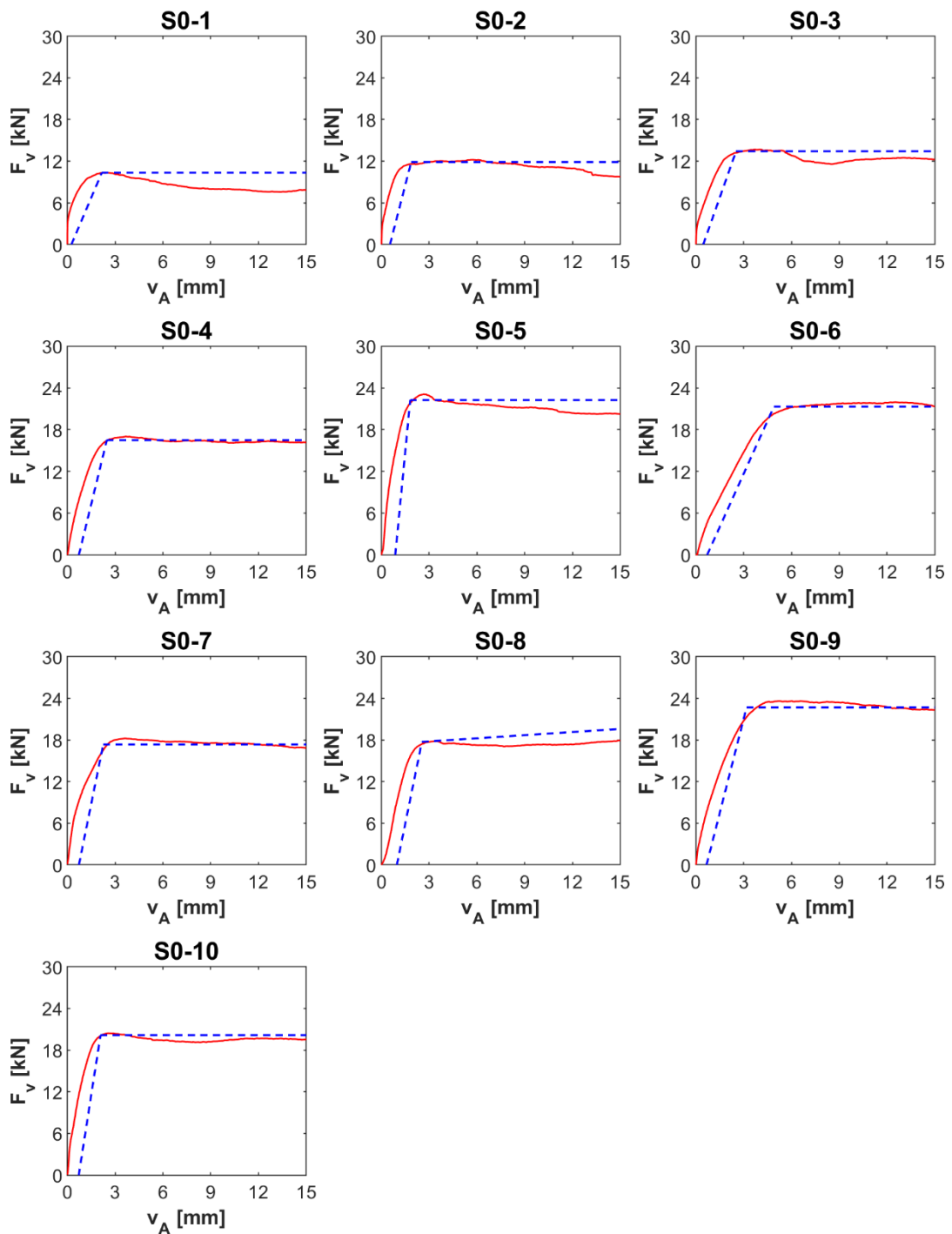


Figur 38: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning, der dybler ble brukt som forbindere. Prøvestykkene er laget av Furu.

Last forskyvningskurve serien med gjengestenger parallell med fiberretning, prøvestykkene ble laget av gran

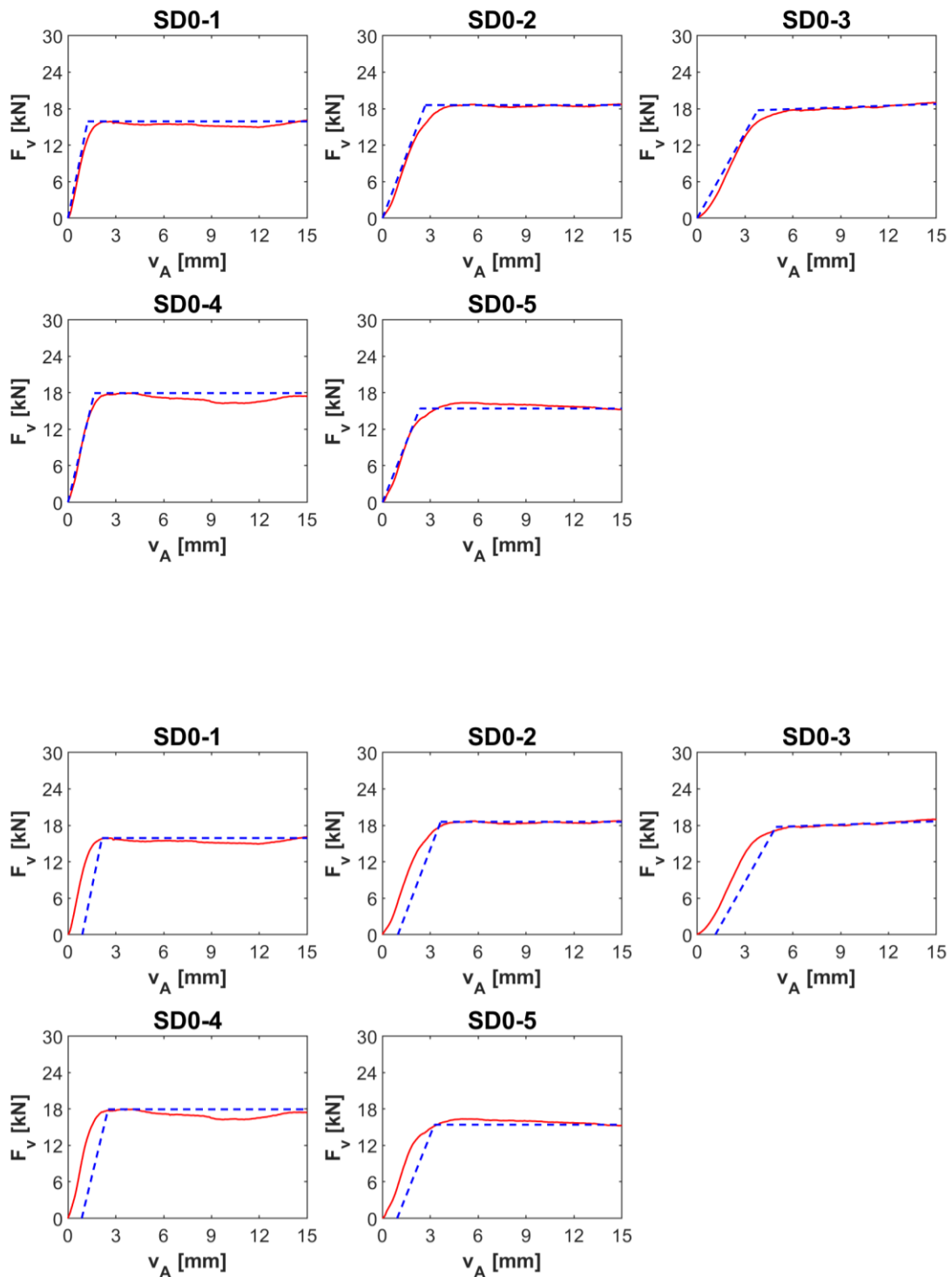


Figur 39: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk serie hullkantfasthet parallell med fiberretning, der er gjengestenger ble brukt som forbindere. Prøvestykkene er laget av Gran.



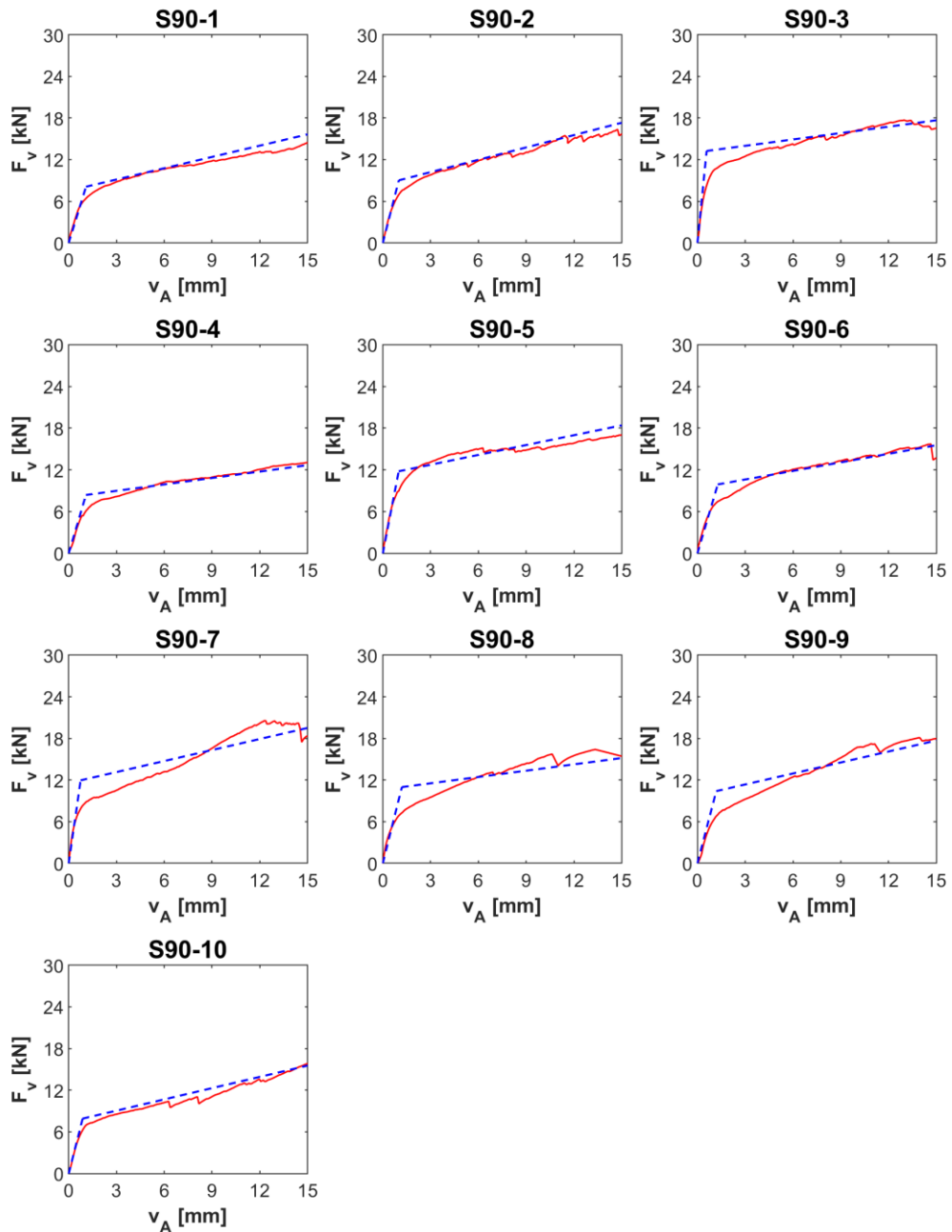
Figur 40: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av gran. Blå linjen indikerer på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25]

Last forskyvningskurve serien med dyble parallell med fiberretning, prøvestykkene ble laget av gran

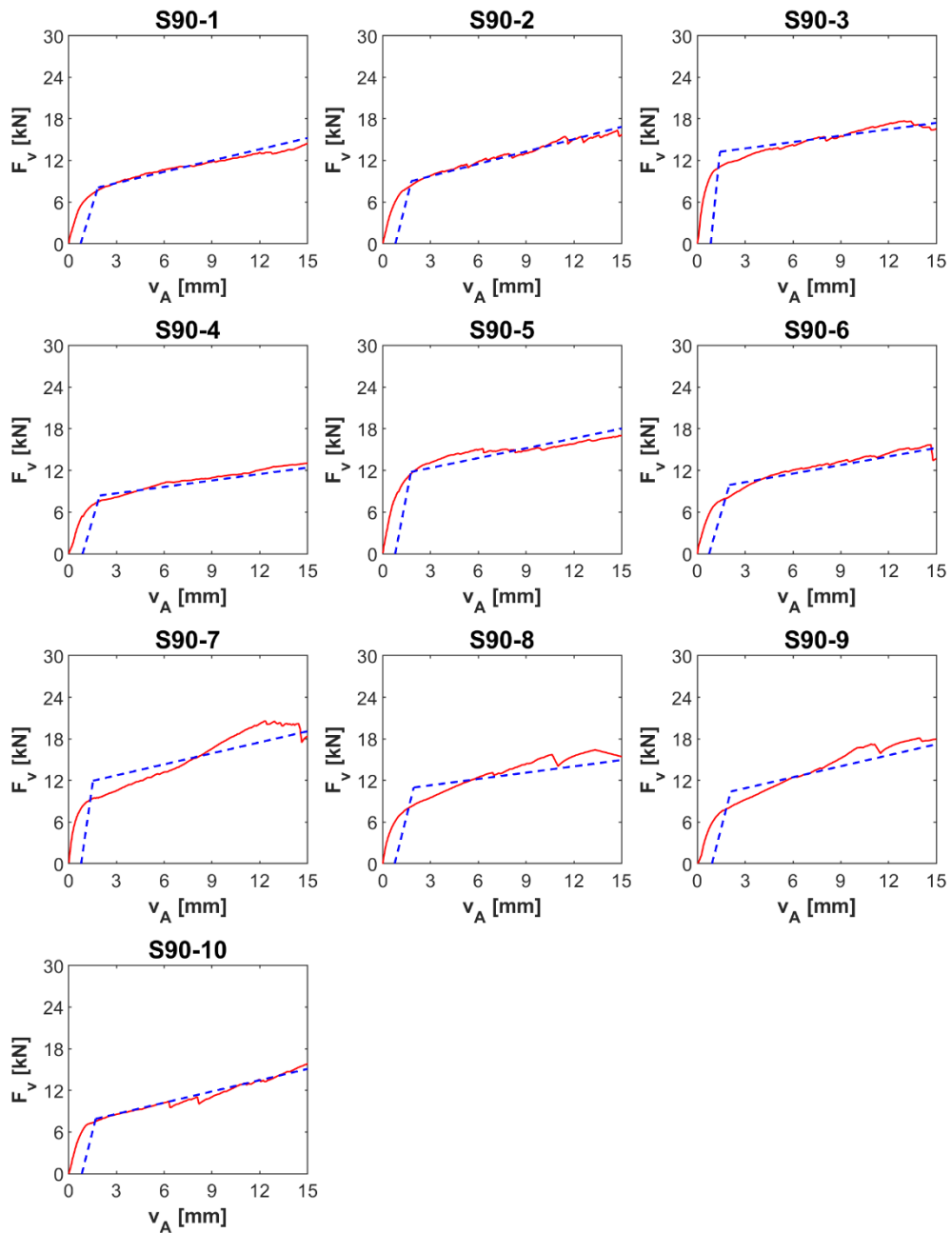


Figur 41: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med dybler. Prøvestykkene er laget av gran. Blå linjen i de 5 nederste figurene indiker på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25].

Last forskyvningskurve serien med gjengestenger vinkelrett på fiberretning, prøvestykkene ble laget av gran.

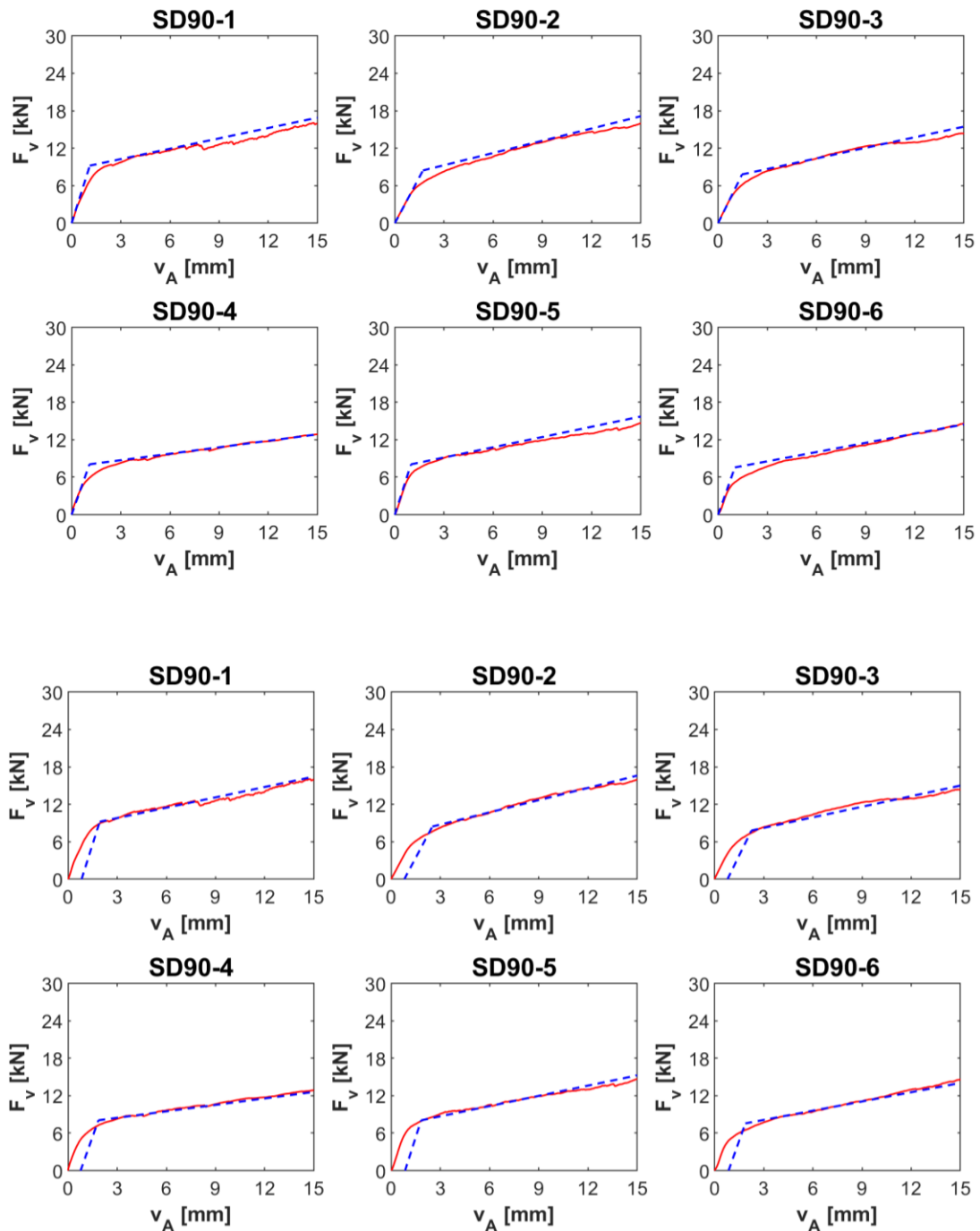


Figur 42: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet normal på fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av gran.



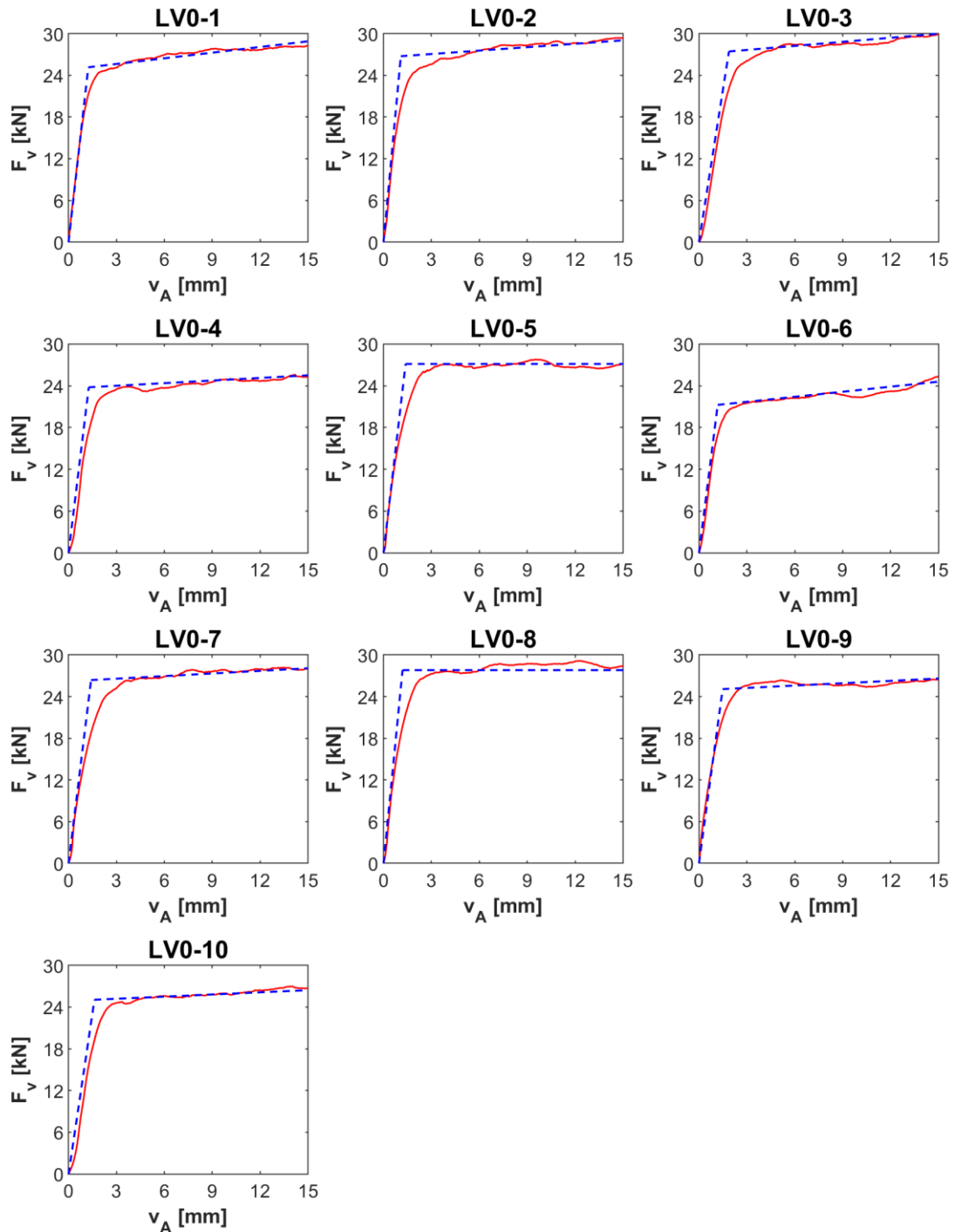
Figur 43: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av gran. Blå linjen indikerer på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25]

Last forskyvningskurve serien med dyble vinkelrett på fiberretning, prøvestykkene ble laget av gran.

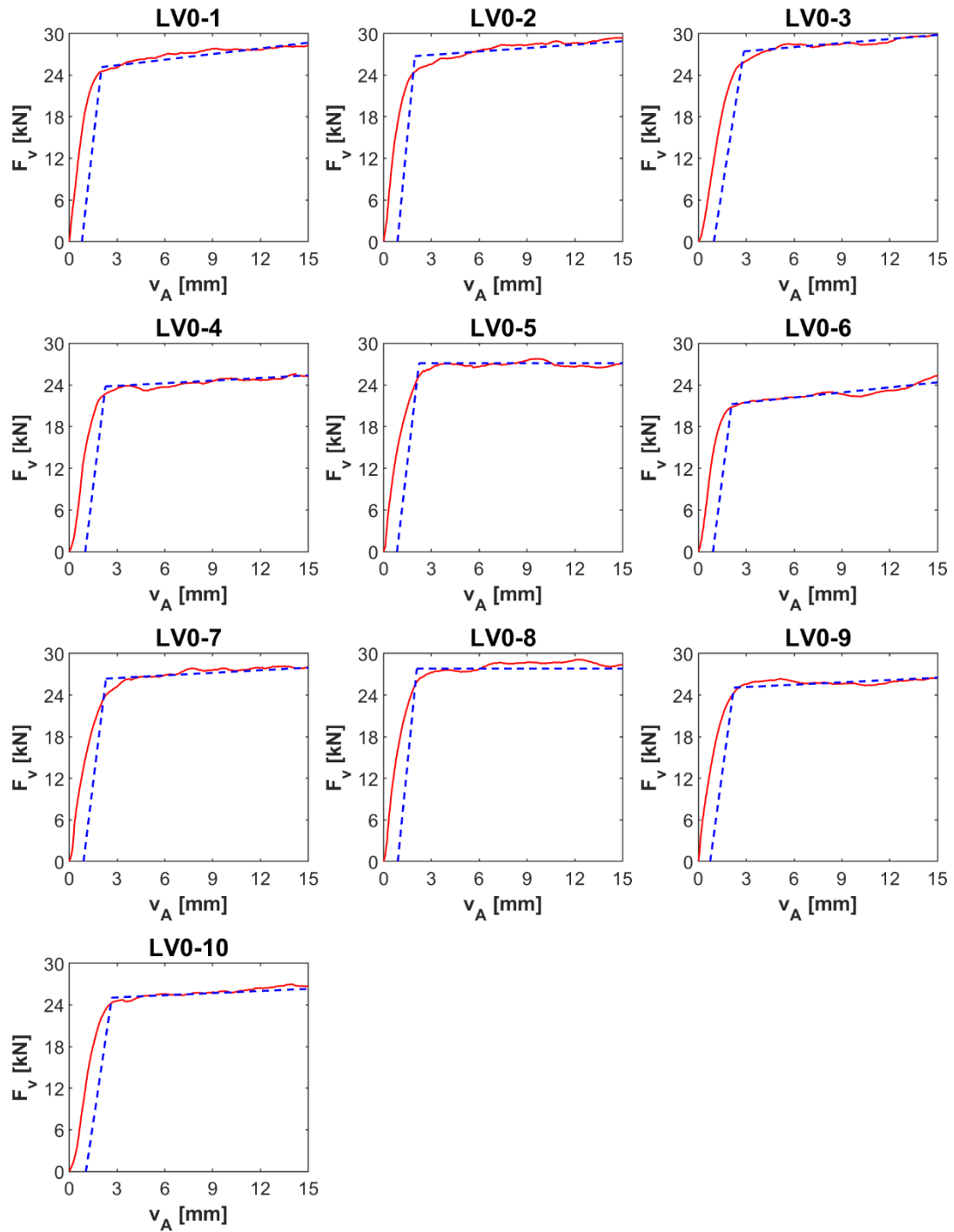


Figur 44: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet serien vinkelrett på fiberretning med dybler. Prøvestykkene er laget av gran. På de 5 nederste figurene indikerer den blå linjen på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25]

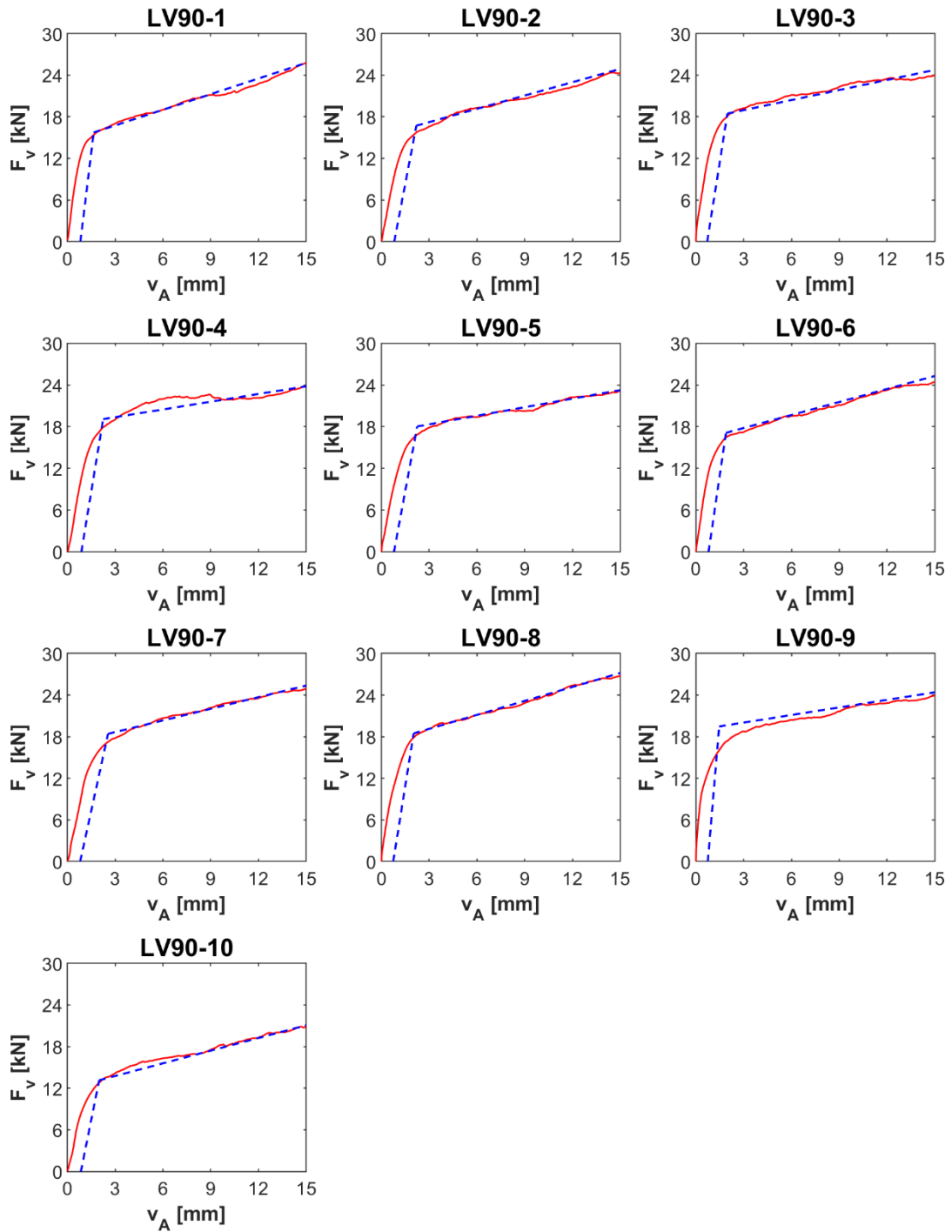
Last forskyvningskurve serien med gjengestenger parallell med fiberretning, prøvestykkene ble laget av LVL.



Figur 45: Kraft-forskyvningskurve fra hullkantfasthet seire parallell med fiberretning, staven er gjengestenger. Prøvestykkene er laget av LVL.



Figur 46: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet parallell med fiberretning med gjengestenger. Prøvestykkene er laget av Kerto Q. Blå linjen indiker på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25].



Figur 47: Kraft-forskyvningskurve fra forsøk hullkantfasthet vinkelrett på fiberretning med gjengestenger som stav. Prøvestykkene er laget av gran. Blå linjen indiker på 5% forskyvning i henhold til ISO 10984. [25].

Vedlegg F Digitale vedlegg
Bilder av prøvestykkene og testene
Regneark

