



BACHELOROPPGAVE

Brann i høye trehus

*En sammenlikning av de to metodene for
branndimensjonering beskrevet i Eurokode 5 del 2 ved bruk
av limtre i høye trehus*

FORFATTERE:

Johanne Bjertnæs Augestad

Ingrid Hansen

Dato:

15. mai 2015



Forord

Denne oppgaven har vært et gruppearbeid der begge forfatterne har vært likestilte, og bidratt i like stor grad.

Oppgaveforfatterne vil først og fremst få rette en stor takk til vår veileder ved Høgskolen i Gjøvik, Marthin Landgraff. Vi ønsker også å takke Guri Krigsvoll for gode tilbakemeldinger underveis i arbeidet med denne oppgaven. Vi vil også takke SWECO AS, avdeling Lillehammer for informasjonen vi har fått oversendt om byggeprosjektet *Treet* i Bergen. Vi har også hatt stor nytte av kontakten vi har hatt med bransjen. Takk til alle dere som har tatt dere tid til å svare på våre spørsmål.

Til slutt vil vi få rette en hjertelig stor takk til familie og venner som har støttet oss i arbeidet med denne oppgaven, og under utdanningstiden ved Høgskolen i Gjøvik.

Gjøvik

Sted

15.5.2015

Dato

Johanne B. Augestad

Johanne Bjertnæs Augestad

Ingrid Hansen

Ingrid Hansen



Sammendrag

Tittel:	Brann i høye trehus En sammenlikning av de to metodene for branndimensjonering beskrevet i Eurokode 5 del 2 ved bruk av limtre i høye trehus	Dato: 04.05.15
Deltakere:	Johanne Bjertnæs Augestad Ingrid Hansen	
Veileder:	Marthin Landgraff	
Evt. oppdragsgiver:	Høgskolen i Gjøvik	
Nøkkelord	Branndimensjonering, Eurokode 5, høye trehus, sammenlikning	
Antall sider/ord:	Antall vedlegg:	Tilgjengelighet (åpen/konfidensiell):
61 / 9695	A - F	Åpen
Kort beskrivelse av bacheloroppgaven:		
<p>Denne oppgaven er en sammenlikning av to godkjente metoder for branndimensjonering av trekonstruksjoner beskrevet i <i>NS-EN 1995-1-2 (4)</i>, metoden med redusert tverrsnitt (MRT) og metoden med reduserte egenskaper (MRE). Forfatterne har sett på hovedbæresystem av limtre i høye trehus.</p> <p>I Norge har vi lange tradisjoner med bruk av tre som konstruksjonsmateriale. Tre som byggemateriale gir gode assosiasjoner for mange, og trebygninger har lang levetid forutsatt riktig konstruksjon, bruk og behandling. Moderne lim- og lamineringsteknikker har gjort det mulig å levere dimensjoner og utforminger i tre som tidligere var utenkelige (5).</p> <p>I Stortingsmelding 21 av 2011 – 2012 Norsk klimapolitikk (6) melder Stortinget at Norge skal være karbonnøytrale innen 2050. For byggsektoren innebærer dette blant annet fokus på valg av miljøvennlige konstruksjonsmaterialer. Bruk av tre i konstruksjoner kan gi mindre klimagassutslipp i byggets livsløp enn bruk av stål og betong.</p> <p>En av utfordringene ved bruk av tre er brannfaren det utgjør. Tre er et lett antennelig materiale som ved riktige forhold brenner godt. På grunn av brannkravene høye hus omfattes av, er tre et materiale som ofte blir valgt bort.</p> <p>Forfatterne har gjennomført en empirisk studie for å finne kapasitetsforskjellene til en rekke ulike tverrsnitt av bjelker, søyler og stag ved bruk av MRT og MRE. Kapasitetsforskjellene ble brukt for å finne ut om en av metodene kunne gi en materialbesparelse.</p> <p>Det ble også gjennomført en casestudie av verdens høyeste trehus, <i>Treet</i> i Bergen.</p> <p>Beregningsresultatene fra dette studiet ble sammenliknet med resultatene fra den empiriske studien.</p> <p>Ut fra de sammenlikningene som ble utført er det konkludert med at de to metodene for branndimensjonering gir forskjellige kapasiteter. Ved å dimensjonere etter begge metodene, er det mulig å optimalisere bærekonstruksjonen med hensyn til lavest mulig materialforbruk.</p>		

**Abstract**

Title:	Fire in high-rise wooden buildings	Date:	04.05.15
	A comparison of the two acknowledged methods for fire design in Eurocode 5 part 2 by use of glue laminated timber in high-rise wooden buildings		
Participants:	Johanne Bjertnæs Augestad Ingrid Hansen		
Supervisor:	Marthin Landgraff		
Employer:	Gjøvik University College		
Keywords:	Structural fire design, Eurocode 5, high rise timber buildings, comparison		
Number of pages/words:	Number of appendix:	Availability (open/confidential):	
61 / 9695	A - F	Open	
Short description of the bachelor thesis:			
<p>This bachelor thesis is a comparison of the two approved methods for fire design in timber structures described in Eurocode 5 part 2 (4), the method of reduced cross-sections and the method of reduced properties. The authors have revised the main support system in high-rise wooden buildings.</p> <p>The use of timber in structures has deep roots in the Norwegian building tradition. Timber gives good associations to the user, and given that wooden buildings receive proper maintenance, well-made structures and used according to their purpose, they will be long-lived. Modern glue- and laminations techniques have made it possible to deliver dimensions and lay-outs in timber that were not possible earlier (5).</p> <p>White Paper 21 (6) states that Norway shall be carbon neutral by 2050. This means a renewed focus on use of environmental friendly building materials in the Norwegian building industry. Use of timber in different structures may provide less greenhouse gas emissions during the structures lifetime, than use of steel and concrete. Due to the fire hazards use of timber provides, and the strict claims for fire design in wooden structures, timber is often disregarded.</p> <p>The authors have completed an empirical study in order to find the difference in capacity for a wide range of cross-sections of beams, columns and diagonal struts using the two methods for fire design. To find if one of the methods could provide a material saving, this study was completed. A case-study of Treet in Bergen was completed as well. The results from these calculations were compared to the results from the empirical study.</p> <p>Our conclusion, based on these two studies, is that the two different methods for fire design provides different capacities. By using both methods, an optimization of the main support system is possible to provide the largest material savings.</p>			

Figurliste

FIGUR 1.1 OPPGAVENS OPPBYGGING	1
FIGUR 1.2 OPPGAVENS DISPOSISJON	3
FIGUR 1.3 OVERSIKT OVER CO ₂ -UTSLIPP FRA BYGGEVAREINDUSTRIEN.....	5
FIGUR 1.4 OPPBYGGING AV LAGENE INNOVER I TVERRSNITTET VED BRANN (3).....	6
FIGUR 1.5 HIERARKIET OVER NORSKE LOVER I BYGGEBRANSJEN.....	7
FIGUR 1.6 BILDE AV HOVEDBÆRESYSTEMET I TREET I BERGEN. HENTET FRA IFC- FILEN.	8
FIGUR 2.1 BILDE AV TREET I BERGEN. GJENGITT MED TILLATELSE FRA ARTEC AS (1).....	10
FIGUR 2.2 FIGUR 4.1 FRA NS-EN 1995-1-2 GJENGITT MED TILLATELSE FRA STANDARD NORGE (2).....	12
FIGUR 2.3 FRIE OG LÅSTE VARIABLE.....	13
FIGUR 2.4 FRIE OG LÅSTE VARIABLE.....	15
FIGUR 2.5 FRIE OG LÅSTE VARIABLE.....	17
FIGUR 2.6 BJELKENS MOMENTKAPASITET	20
FIGUR 2.7 UTSNITT SOM VISER DE KVADRATISKE TVERRSNITTENE	20
FIGUR 2.8 BJELKENS SKJÆRKAPASITET	21
FIGUR 2.9 UTSNITT AV FIGUR 2.4.....	21
FIGUR 2.10 SØYLENES TRYKKAPASITET VED LENGDE 3,2 METER.....	22
FIGUR 2.11 UTSNITT SOM VISER SØYLETVERRSNITTENE FRA 180 MM X 180 MM TIL 270 MM X 270 MM	22
FIGUR 2.12 SØYLENES TRYKKAPASITET VED LENGDE 6,4 METER.....	23
FIGUR 2.13 UTSNITT SOM VISER DE KVADRATISKE SØYLETVERRSNITTENE	23
FIGUR 2.14 SØYLENES TRYKKAPASITET VED LENGDE 12,8 METER.....	24
FIGUR 2.15 UTSNITT SOM VISER SØYLETVERRSNITTENE HVOR MRE GIR HØYEST KAPASITET.....	24
FIGUR 2.16 STAGENES TRYKKAPASITET VED LENGDE 3,2 METER.....	25
FIGUR 2.17 UTSNITT SOM VISER STAGTVERRSNITTENE FRA 180 MM X 180 MM TIL 270 MM X 270 MM.....	25
FIGUR 2.18 STAGENES STREKKAPASITET VED LENGDE 3,2 METER	26
FIGUR 2.19 STAGENES TRYKKAPASITET VED LENGDE 6,4 METER.....	27
FIGUR 2.20 UTSNITT SOM VISER DE KVADRATISKE STAGTVERRSNITTENE	27
FIGUR 2.21 STAGENES STREKKAPASITET VED LENGDE 6,4 METER	28
FIGUR 2.22 STAGENES TRYKKAPASITET VED LENGDE 12,8 METER	29
FIGUR 2.23 UTSNITT SOM VISER STAGTVERRSNITTENE HVOR MRE GIR HØYEST KAPASITET.....	29
FIGUR 2.24 STAGENES STREKKAPASITET VED LENGDE 12,8 METER	30
FIGUR 2.25 BJELKENES MOMENTKAPASITET I TREET	31
FIGUR 2.26 BJELKENES SKJÆRKAPASITET I TREET	32
FIGUR 2.27 SØYLENES TRYKKAPASITET I TREET	33
FIGUR 2.28 UTSNITT SOM VISER TVERRSNITTENE 495 MM X 495 MM, L = 7,1 METER OG 495 MM X 495 MM, L = 11,9 METER	33
FIGUR 2.29 STAGENES TRYKKAPASITET I TREET.....	34
FIGUR 2.30 STAGENES STREKKAPASITET I TREET	35
FIGUR 3.1 GRAFISK FREMSTILLING AV GJENNOMSNITTLIG MATERIALBESPARELSE	37
FIGUR 3.2 GRAFISK FREMSTILLING AV MATERIALBESPARELSEN I TREET	38



Formelliste

- (2.1) NS-EN 1995-1-2 (4.1)
- (2.2) NS-EN 1995-1-2 tabell 4.1
- (2.3) NS-EN 1995-1-2 pkt. 4.2.2
- (2.4) NS-EN 1995-1-2 (3.2)
- (2.5) NS-EN 1995-1-2 (3.2)
- (2.6) NS-EN 1995-1-2 tabell 3.1
- (2.7) NS-EN 1995-1-2, (4.2), (4.3) og (4.4)
- (2.8) NS-EN 1995-1-1, (6.11) og (6.12)
- (2.9) NS-EN 1995-1-1, (2.17)
- (2.10) NS-EN 1995-1-1, (6.13)
- (2.11) NS-EN 1995-1-1, (2.17)
- (2.12) NS-EN 1995-1-1, (6.11) og (6.12)
- (2.13) NS-EN 1995-1-2, (2.1)
- (2.14) NS-EN 1995-1-1, (6.13)
- (2.15) NS-EN 1995-1-2, (2.1)
- (2.16) NS-EN 1995-1-1, (6.11) og (6.12)
- (2.17) NS-EN 1995-1-2, (2.1)
- (2.18) NS-EN 1995-1-1, (6.13)
- (2.19) NS-EN 1995-1-2, (2.1)
- (2.20) NS-EN 1995-1-1, (6.2)
- (2.21) NS-EN 1995-1-1, (2.17)
- (2.22) NS-EN 1995-1-1, (6.25)
- (2.23) NS-EN 1995-1-1, (6.27)
- (2.24) NS-EN 1995-1-1, (6.21)
- (2.25) NS-EN 1995-1-1, (6.21)
- (2.26) NS-EN 1995-1-1, (6.2)
- (2.27) NS-EN 1995-1-1, (2.17)



(2.28)	NS-EN 1995-1-1, (6.25)
(2.29)	NS-EN 1995-1-1, (6.27)
(2.30)	NS-EN 1995-1-1, (6.21)
(2.31)	NS-EN 1995-1-1, (6.21)
(2.32)	NS-EN 1995-1-1, (6.2)
(2.33)	NS-EN 1995-1-1, (2.17)
(2.34)	NS-EN 1995-1-1, (6.25)
(2.35)	NS-EN 1995-1-1, (6.27)
(2.36)	NS-EN 1995-1-1, (6.21)
(2.37)	NS-EN 1995-1-1, (6.21)
(2.38)	NS-EN 1995-1-1, (6.2)
(2.39)	NS-EN 1995-1-1, (2.17)
(2.40)	NS-EN 1995-1-1, (6.25)
(2.41)	NS-EN 1995-1-1, (6.27)
(2.42)	NS-EN 1995-1-1, (6.21)
(2.43)	NS-EN 1995-1-1, (6.21)
(2.44)	NS-EN 1995-1-1, (6.1)
(2.45)	NS-EN 1995-1-1, (2.17)
(2.46)	NS-EN 1995-1-1, (6.2)
(2.47)	NS-EN 1995-1-1, (2.17)
(2.48)	NS-EN 1995-1-1, (6.25)
(2.49)	NS-EN 1995-1-1, (6.27)
(2.50)	NS-EN 1995-1-1, (6.21)
(2.51)	NS-EN 1995-1-1, (6.21)
(2.52)	NS-EN 1995-1-1, (6.1)
(2.53)	NS-EN 1995-1-1, (2.17)
(2.54),	NS-EN 1995-1-1, (6.2)
(2.55)	NS-EN 1995-1-1, (2.17)
(2.56)	NS-EN 1995-1-1, (6.25)



Formelliste

- (2.57) NS-EN 1995-1-1, (6.27)
- (2.58) NS-EN 1995-1-1, (6.21)
- (2.59) NS-EN 1995-1-1, (6.21)
- (2.60) NS-EN 1995-1-1, (6.1)
- (2.61) NS-EN 1995-1-1, (2.17)



Tabelliste

TABELL 3.1 OVERSIKT OVER GJENNOMSNITTLIG MATERIALBESPARELSE I PROSENT	36
TABELL 3.2 OVERSIKT OVER GJENNOMSNITTLIG MATERIALBESPARELSE I TREET.....	38
TABELL 3.3 MATERIALBESPARELSEN I TREET GITT I KUBIKKMETER.....	39
TABELL 3.4 MILJØGEVINST VED MATERIALBESPARELSE VED TREET I BERGEN GITT I KG CO ₂ - EKVIVALENTER	40

Terminologi

A	Areal
A_r	Restareal ved bruk av MRE i kubikkmeter
A_{rest}	Restareal ved bruk av MRT i kubikkmillimeter
b	Bredden av tverrsnittet
d_0	Dybden på forkulningslaget med antatt ingen styrke
$d_{char,n}$	Nominell forkulningsdybde
d_{ef}	Effektiv forkulningsdybde
$E_{0,05}$	5 prosent fraktilen av elastisitetsmodulen
f_{mk}	Karakteristisk bøyefasthet
f_{vk}	Karakteristisk skjærfasthet
$f_{t,0,k}$	Karakteristisk strekkfasthet i fiberretningen
$f_{c,0,k}$	Karakteristisk trykkapasitet i fiberretningen
h	Høyden av tverrsnittet
k_{fi}	Koeffisient
k_c	Instabilitetsfaktor/knekkfaktor
k	Instabilitetsfaktor/knekkfaktor
k_h	Høydefaktor
k_0	Tidsavhengig koeffisient som påvirker forkulningsdybden i løpet av de 20 første minuttene av brannen
K_{mod}	Fasthetsfaktor for lastvarighet og klimaklasse
$K_{mod,fi}$	Fasthetsfaktor ved brann MRT
$K_{mod,fi,ten}$	Fasthetsfaktor for strekkapasitet. Brukes ved beregning av strekkapasitet i en brannsituasjon MRE
$K_{mod,fi,comp}$	Fasthetsfaktor for trykkapasitet i en brannsituasjon. Brukes ved beregning av trykkapasitet i en brannsituasjon MRE
$K_{mod,fi,m}$	Fasthetsfaktor for bøyemotstand i en brannsituasjon. Brukes ved beregning av moment og skjærkapasitet ved MRE
p	Omkretsen av brannbelastet tverrsnitt i meter
t	Tid i minutter
i	Treghetsradius
L_{cr}	Knekk lengde
W	Motstandsmomentet
λ	Slankhetsforholdet
λ_{rel}	Relativt slankhetsforhold



Terminologi

β_n	Innbrenning i mm/min
β_c	Retthetsfaktor
γ_m	Materialfaktor
$\gamma_{m,fi}$	Materialfaktor ved brann



Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Figurliste	IV
Formelliste.....	V
Tabelliste	VIII
Terminologi	IX
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Formålet med oppgaven	1
1.3 Forkortelser og definisjoner	2
1.4 Disposisjon	3
1.5 Norge i dag.....	3
1.6 Tre som konstruksjonsmateriale i høyhus.....	4
1.7 Miljøpåvirkning.....	5
1.7.1 Miljøavtrykk fra byggevareindustrien	5
1.8 Brann i tre	6
1.9 Regelverk	6
1.10 Problemstillingen	7
1.11 Presisering av oppgaven	7
1.12 Avgrensninger	8
1.13 Brannteknisk dimensjonering	9
2 Metode.....	10
2.1 <i>Treet</i>	10
2.2 Våre beregninger	11
2.2.1 Metoden med redusert tverrsnitt (MRT):.....	11
2.2.2 Metoden med reduserte egenskaper (MRE):	12
2.2.3 Forskjell mellom tverrsnittsarealer	12
2.2.4 Dimensjonering av bjelketverrsnitt.....	13
2.2.5 Dimensjonering av søyler	15
2.2.6 Dimensjonering av stag	17



Innholdsfortegnelse

2.2.7	Beregninger	19
2.2.8	Bjelkeberegninger	20
2.2.9	Søyleberegninger	22
2.2.10	Stagberegninger	25
2.3	Beregningene av <i>Treet</i>	31
2.3.1	Bjelkeberegningene av <i>Treet</i>	31
2.3.2	Søyleberegningene av <i>Treet</i>	33
2.3.3	Stagberegningene av <i>Treet</i>	34
3	Resultat og analyse.....	36
3.1	Resultatet av våre beregninger	36
3.2	Resultat av beregningene av <i>Treet</i>	38
3.2.1	Analyse av spart trevirke i <i>Treet</i>	39
4	Diskusjon	41
4.1	Bakgrunn.....	41
4.2	Resultater og analyse	41
4.3	Refleksjon over metodevalg	42
4.4	Konklusjon	43
4.5	Forslag til videre arbeid	43
	Referanser	44
	Vedlegg.....	46

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

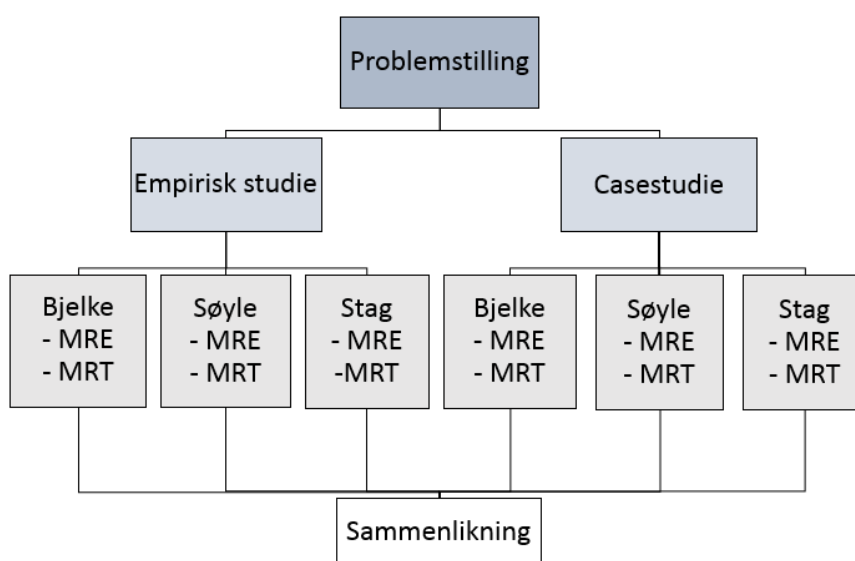
I denne 20 studiepoengs bacheloroppgaven har forfatterne sett på forskjellen mellom to godkjente metoder for branndimensjonering av hovedbæresystem i høye trehus, ved å utføre et antall beregninger av bjelker, søyler og stag. Deretter sammenliknes dette med tilsvarende beregninger gjort på byggeprosjektet *Treet* (7), som er under oppføring i Bergen. Dette har gitt en indikasjon på hvilken beregningsmetode som er mest materialbesparende. Oppgaven er skrevet med IMRaD-struktur, og forfatterne av denne bacheloroppgaven vil heretter omtales som *vi*.

1.2 Formålet med oppgaven

Formålet med denne oppgaven er å sette søkelyset på forskjellene mellom de to metodene for branndimensjonering av trekonstruksjoner: metoden med redusert tverrsnitt (MRT) og metoden med reduserte egenskaper (MRE). Begge metodene er i henhold til NS-EN 1995-1-2 (4).

Vi har studert de to metodene og sammenliknet disse. Beregningene vi har utført har gitt oss grunnlag til å vurdere hvilken metode som egner seg best i dimensjoneringen av de ulike komponentene i hovedbæresystemet. Vi ønsket å se om forskjellen de to metodene ga ved dimensjonering av tverrsnittene var store nok til å påvirke materialforbruket i større grad.

Vi har i tillegg sammenliknet resultatene vi har fått av bjelke-, søyle- og stagdimensjoneringen med de tilsvarende beregningene vi har gjort på *Treet*. Dette setter beregningene våre i et praktisk lys der vi kan begrunne våre påstander. Figur 1.1 viser en grafisk fremstilling av oppgavens oppbygging.



Figur 1.1 Oppgavens oppbygging



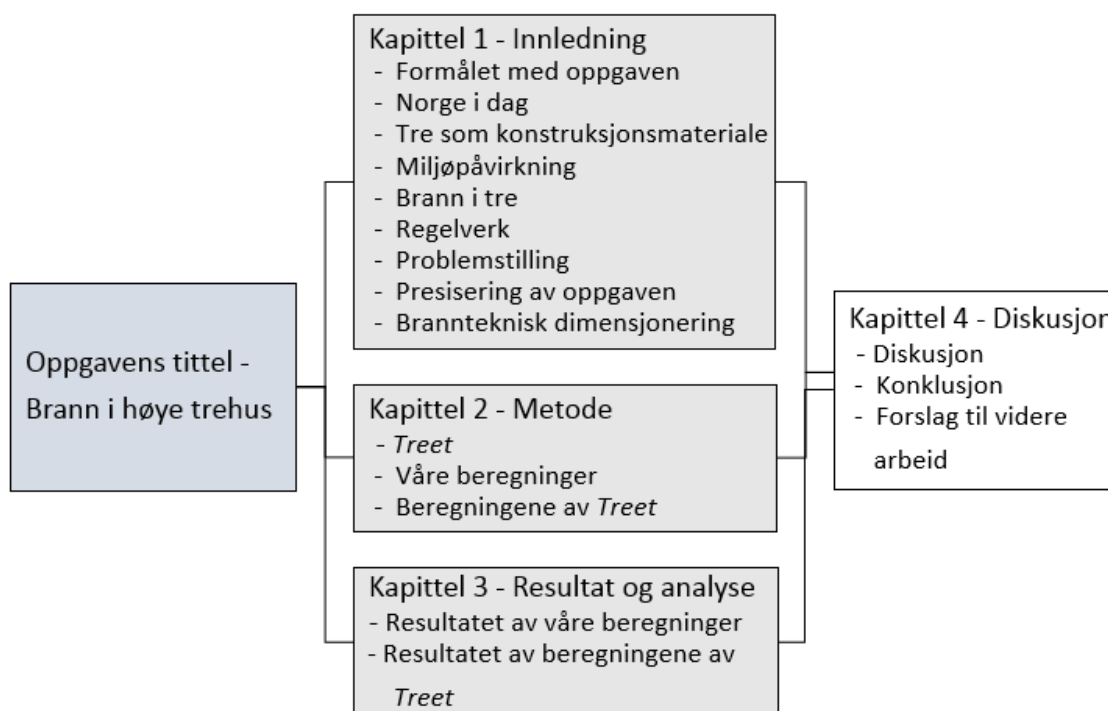
1.3 Forkortelser og definisjoner

Casestudie	En metode der et objekt undersøkes, og det antas at resultatene gjelder for alle liknende objekter
CEN	Den europeiske standardiseringsorganisasjonen
Empirisk studie	En metode hvor anerkjente empiriske formler danner grunnlaget for kapasitetsberegningene
EPD	Environmental Product Declaration, miljødeklarasjoner for produkter
IFC	Objektbasert datamodell med informasjon om en konstruksjon
MRE	Metoden med reduserte egenskaper, beregningsmetode som tar hensyn til trevirkets fasthetsegenskaper ved brann
MRT	Metoden med redusert tverrsnitt, beregningsmetode som tar hensyn til forminskning av tverrsnittet ved brann
NS-EN 1995-1-1	NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA2010 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger (8)
NS-EN 1995-1-2	NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering (4)
PBL	Lov om plan- og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven) (9)
TEK10	Forskrift om tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift) (10)
Tverrsnitt	Arealet av en konstruksjonsdel vinkelrett på fiberretningen

1.4 Disposisjon

Vi har valgt å dele oppgaven i fire kapitler. Figur 1.2 viser kapittelinnvidelingen og underoverskriftene.

Kapittel 1 – Innledning	Her blir problemstillingen presentert, og leseren får en innføring i hva oppgaven handler om og historien bak
Kapittel 2 – Metode	Her blir våre metoder forklart, og de empiriske kapasitetsberegningene vist
Kapittel 3 – Resultat og analyse	Her blir resultatene kommentert og analysert
Kapittel 4 – Diskusjon	Her blir oppgaven diskutert i sin helhet og vi trekker en konklusjon. Til slutt sier vi litt om hva vi synes det bør jobbes videre med i fremtiden



Figur 1.2 Oppgavens disposisjon

1.5 Norge i dag

I Norge har vi lange tradisjoner med bruk av tre som konstruksjonsmateriale. Tre har vært lett tilgjengelig og er lett å bearbeide. Vår byggeskikk og våre håndverkstradisjoner har utviklet seg over lang tid ut fra de muligheter og begrensninger som tilgjengelige materialdimensjoner, materialegenskaper og ikke minst stedlig klima har satt. Tre som byggemateriale gir gode assosiasjoner for mange, og trebygninger har lang levetid forutsatt

riktig konstruksjon, bruk og behandling. Tre ønskes ofte brukt fordi det ser bra ut og moderne lim- og lamineringsteknikker har gjort det mulig å levere dimensjoner og utforminger som tidligere var utenkelige (5).

En av utfordringene ved bruk av tre er brannfaren det utgjør. Tre er et lett antennelig materiale som ved riktige forhold brenner godt. På grunn av brannkravene høye hus omfattes av er tre et materiale som ofte blir valgt bort.

Helt siden de første bosetningene kom til Norge har tre vært et foretrukket materiale å bygge med. I 1904 brant Ålesund nesten helt ned til grunnen. Før brannen var bybildet fylt av store trehus i enkel stil. Da den ble bygget opp igjen måtte trevirket vike for stein og mur. Bergen hadde sin siste store brann i 1916, og Trondheim hadde sin største brann i 1834. Da Oslo ble bygget opp igjen etter brannen i 1624, ble det anlagt brede gater og innført murtvang som en brannsikring (11). Tre har derfor blitt mest brukt i småhusbebyggelse og ved mindre konstruksjoner. I de senere år har tre blitt tatt opp igjen som en konkurrent til stål og betong i høyere bygningskonstruksjoner. Dette på grunn av fornyet fokus på miljø og forskning rundt brannsikkerhet.

I Stortingsmelding 21 av 2011 – 2012 Norsk klimapolitikk (6) melder Stortinget at Norge skal være karbonnøytrale innen 2050. Dette skal skje ved en langsiktig omstilling av de ulike sektorene i norsk næringsliv både nasjonalt og regionalt. For byggsektoren innebærer dette blant annet endrede oppvarmingsmetoder, og fokus på nybygg med passivhusstandard. Dette vil si at en må ta et bevisst valg når det gjelder materialer i konstruksjonen. Tre kan gi mindre klimagassutslipp i byggets livsløp enn ved bruk av stål og betong.

1.6 Tre som konstruksjonsmateriale i høyhus

Vi har utført et litteratursøk og funnet flere oppgaver som omhandler temaet brann og bruk av tre i nybygg. Under World Conference on Timber Engineering ble det i 2012 presentert et arbeide om hybridbygg, der både stål, tre og betong var brukt i nybygg (12). *Treet* ble i 2014 presentert på den samme konferansen (13). I 2011 konkluderte en bacheloroppgave (14) fra Worcester Polytechnic Institute med at bedre kommunikasjon mellom fagmiljøene innen branndimensjonering og bærekraftig bygging, ville føre til mer brannsikre og bærekraftige bygg.

I Skandinavia er det utgitt flere publikasjoner som omhandler dimensjonering av trekonstruksjoner (15-18). Disse gjelder i all hovedsak for bolighus under fem etasjer, men tar for seg alle aspekter ved dimensjoneringen.

SINTEF Byggforsk har gjennom mange år utviklet byggforsksblader. Disse er ansett for å være systematiske og godt gjennomtenkt, og blir ofte godtatt som preaksepterte løsninger i *Veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk (Veiledning til TEK10)* (19). Moelven Limtre AS har bidratt til utvikling av limtrekonstruksjoner (20). Trefokus, Treindustrien og Treteknisk Institutt er institusjoner som har bidratt til økt forskning og fokus på tre. Det

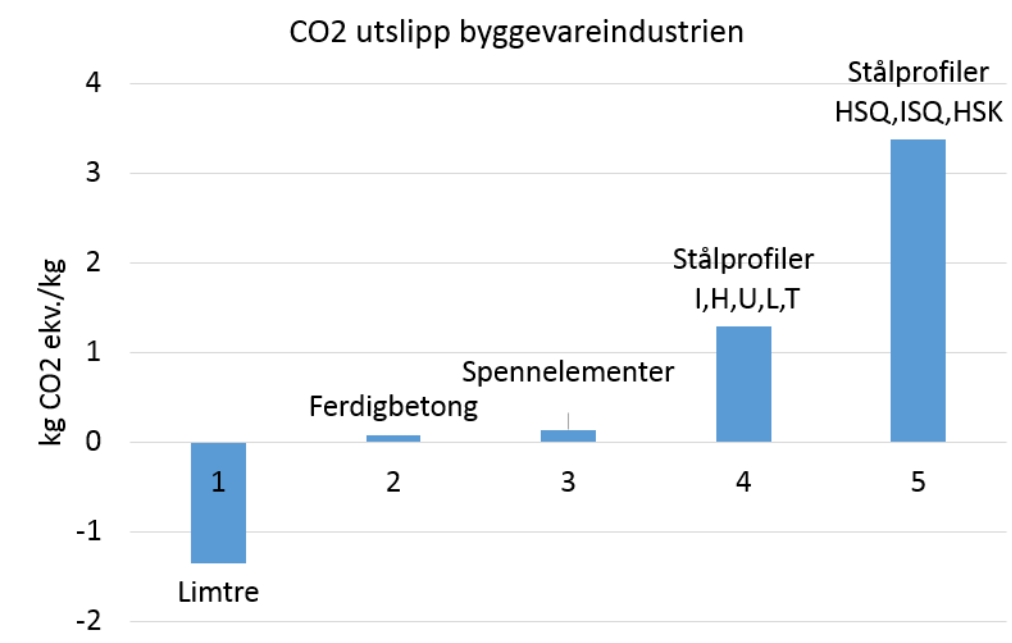
finnes per i dag flere prosjekter der høyhus blir konstruert med hovedbæresystem i tre, blant annet *Treet* i Bergen (7), et boligbygg i Sverige (21), et boligbygg i Tyskland (22) og et leilighetsbygg i Australia (23). Dette er bygninger med åtte etasjer eller mer. Det vil si at konstruktørene her har funnet løsninger som gjør det mulig å bygge høyt i tre.

I de ulike håndbøker vi har brukt som referanser blir MRT beskrevet i sin helhet, mens MRE ofte bare blir nevnt (15, 18). Vi har fått inntrykk av at metoden med redusert tverrsnitt er foretrukket fremfor metoden med reduserte egenskaper. Dette kan henge sammen med forskjellen i det teoretiske nivået på de to ulike metodene (se beskrivelse av Metoden med redusert tverrsnitt (MRT) og Metoden med reduserte egenskaper (MRE) i Metode).

1.7 Miljøpåvirkning

For å kunne ha et mål på hvordan utslipp av ulike gasser påvirker drivhuseffekten er det opprettet et målesystem der den effekten en klimagass har på den globale oppvarmingen over en gitt tidsperiode omregnes til CO₂-ekvivalenter. Det betyr at mengden av en gass som ikke er karbondioksid blir målt i hvor mange molekyler av denne gassen som tilsvarer den samme mengden av karbondioksid. Forskjellige studier har vist at innholdet av karbondioksid i atmosfæren har variert periodisk i jordens levetid. I moderne tid har økt utslipp av karbondioksid fra menneskenes side ført til at denne variasjonen har kommet ut av balanse.

1.7.1 Miljøavtrykk fra byggevareindustrien



Figur 1.3 Oversikt over CO₂-utslipp fra byggevareindustrien

Både nasjonalt og internasjonalt er det fokus på krav til miljødeklarasjoner på byggematerialer. Disse deklarasjonene kalles Environmental Product Declaration (EPD), og utarbeides etter internasjonale standarder som blant annet ISO 21930 (24). EPD-ene skal vise byggematerialets miljøavtrykk gjennom fasene produksjon, bruksperiode og avhending. De skal hjelpe oss til å ta et miljømessig riktig valg når vi skal velge byggematerialer.

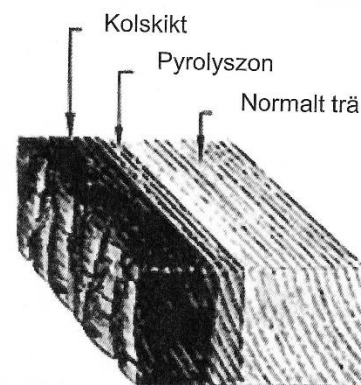
Figur 1.3 viser omtrentlige verdier for klimagassutslipp, målt i kilogram CO₂ ekvivalenter / kilogram, for de ulike byggematerialene. Verdiene er hentet fra EPD-ene til typiske materialer som limtre (25), forskjellige stålprofiler (26, 27), ferdigbetong (28) og forspente betongdekker (29). Denne informasjonen viser miljøgevinsten ved å bygge i tre kontra stål og betong.

1.8 Brann i tre

Tre er et porøst, brennbart materiale, men har allikevel mange gode branntekniske egenskaper. Ved brann vil trefibrene forkulles ved omtrent 200 °C - 250 °C. Selvantenning skjer ved temperaturer rundt 300 °C – 360 °C (15).

Kullaget som oppstår virker isolerende på det urørte treet og hindrer varmeoverføring, noe som er grunnen til at brannmotstanden kan øke ved større dimensjoner. Den branntekniske funksjonen er avhengig av treetts forkulningshastighet. Forkulningshastigheten avhenger igjen av fuktinnholdet og treetts densitet. Sjøktet innenfor kullaget kan ha redusert styrke og stivhet (se beskrivelse av Metoden med redusert tverrsnitt (MRT) og Metoden med reduserte egenskaper (MRE) under Metode).

En trekonstruksjons brannmotstand avhenger både av treetts egenskaper, og eventuelle fuger og forbindelser som inngår i konstruksjonen. Fuger og forbindelser er de svakeste punktene i konstruksjonene og bør derfor ha høyere brannmotstand. Der det er brukt metallforbindelser vil disse overføre varme fra utsiden inn til de indre sjiktene av tverrsnittet. I verste fall kan det oppstå et kullag innover i forbindelsen som vil svekke konstruksjonen (15). Limfugene i limtrekonstruksjoner har større brannmotstand enn treet, og er ofte helt uskadet i de delene av konstruksjonene som ikke er oppbrent (16).



Figur 1.4 Oppbygging av lagene innover i tverrsnittet ved brann (3)

1.9 Regelverk

Lov om plan- og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven(PBL)) (9) inneholder retningslinjer for hvordan arealplanlegging og byggevirksomhet skal foregå. Forskrift om tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift (TEK2010)) (10) inneholder bestemmelser og minstekrav til byggverk som oppføres i Norge. Denne forskriftens veiledning, *Veiledning om*

tekniske krav til byggverk (veiledning til TEK 10)(19) inneholder forklaringer på forskriftens krav og videre henvisning til *Norsk Standard* og *SINTEF Byggforsk* sine anvisninger.

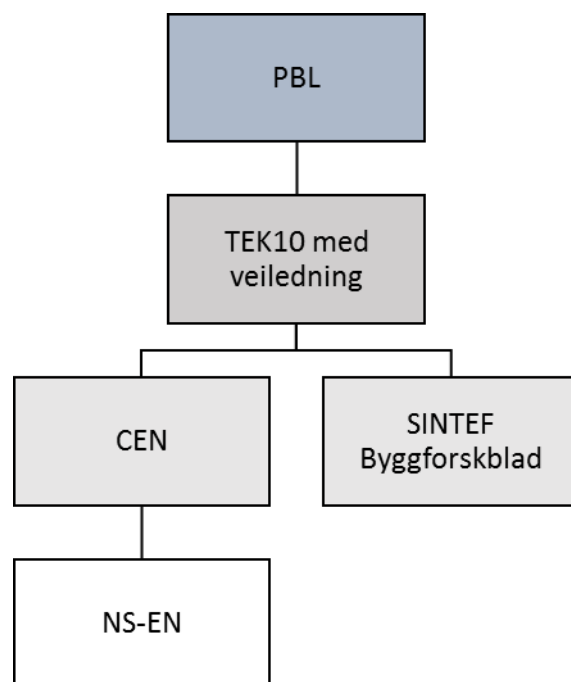
I denne oppgaven er både TEK10 med veiledning, og *norske standarder* brukt. I *TEK10* er *kapittel 11* (30) sentralt da dette omhandler brann i bygninger. De to aktuelle standardene er *NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-1:*

Allmenne regler og regler for bygninger (NS-EN 1995-1-1) (8) og *NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-2:*

Brannteknisk dimensjonering (NS-EN 1995-1-2) (4).

Disse standardene er vedtatt av *CEN*, og har fått et norsk nasjonalt annex der standarden er tilpasset norske byggeregler. Figur 1.5 viser hierarkiet over lovene som gjelder i Norge.

TEK10 § 11 sier at et bygg med flere enn fem etasjer som er beregnet for overnatting, og hvor brukere og beboere kjenner rømningsveier, havner i risikoklasse (RKL) 4 og brannklasse (BKL) 3. Dette gir et krav på *R90 A2-s1, d0 [A 90]* (30) for hovedbæresystemet. Treprodukter er plassert i euroklasse D (18). Dette betyr at tre ikke godkjennes uten videre som byggemateriale i RKL 4 og BKL 3. For trekonstruksjoner over fem etasjer må det i hvert enkelt tilfelle dokumenteres ved beregninger at trekonstruksjonene tilfredsstillere brannkravene.



Figur 1.5 Hierarkiet over norske lover i byggebransjen

1.10 Problemstillingen

Hvilken beregningsmetode for branndimensjonering av hovedbæresystemet i høye trehus er mest materialbesparende, og hvordan kan dette anvendes på Treet i Bergen?

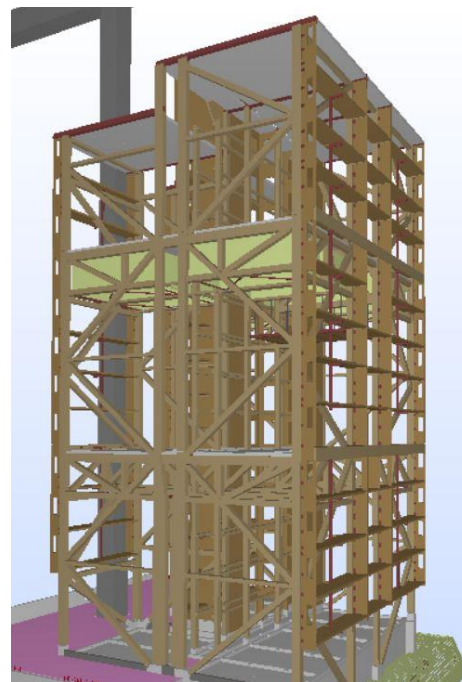
1.11 Presisering av oppgaven

NS-EN 1995-1-2 (4) beskriver to metoder for branndimensjonering av bygninger i tre. I denne oppgaven har vi sett hvilken av de to metodene som er mest hensiktsmessig å benytte med tanke på miljø, økonomi og prosjektering.

De karakteristiske fasthetsverdiene som ligger til grunn for våre beregninger er hentet fra *Moelven Limtre (31)*.

Vi har valgt å utføre en empirisk studie der kapasiteten til bjelker, søyler og stag i et hovedbæresystem er blitt beregnet. Tverrsnittene er valgt ut fra tre forskjellige bredde- og høydeforhold vi mener er fornuftige: $b/h = (3/3)$, $b/h = 2/3$ og $b/h = 1/3$. Søyle- og stagtverrsnittene er beregnet med tre forskjellige lengder: $l = 3200$ mm, $l = 6400$ mm og $l = 12800$ mm. Dette har gitt oss 203 beregninger, noe vi mener er nok til å se en tydelig tendens. Da kapasiteten til et tverrsnitt ikke avhenger av belastning har vi sett bort fra lastene på konstruksjonen.

For å se våre beregningsresultater i et mer praktisk lys, har vi gjennomført en casestudie av verdens høyeste trehus, *Treet* per 01.01.2015. Vi har beregnet de bjelkene, søylene og stagene i limtre som inngår i hovedbæresystemet. Dette bygget er prosjektert av SWECO Norge AS, avdeling Lillehammer og reises i Bergen i disse dager. Vi har fått oversendt en IFC-fil fra SWECO Norge AS, avdeling Lillehammer og det er fra denne modellen vi har hentet tverrsnittene til disse beregningene.



Figur 1.6 Bilde av hovedbæresystemet i *Treet* i Bergen. Hentet fra IFC-filen.

1.12 Avgrensninger

Vi måtte avgrense oppgaven slik at den passet vårt teoretiske nivå, og slik at oppgaven lot seg gjennomføre i løpet av et vårsemester. Vi har sett på de delene av hovedbæresystemet i *Treet* som var av limtre, og så med det bort fra komponentene i stål, betong og massivtre.

I *NS-EN 1995-1-2 punkt 4.2.3(1)* står det at MRE kun kan benyttes dersom komponenten er brannbelastet på tre eller fire sider (4). Vi valgte å se på elementene i hovedbæresystemet som var brannbelastet fra tre sider.

Siden vi ønsket at våre beregninger, uavhengig av byggets plassering og bruk, skulle vise forskjellene i metodene MRE og MRT, valgte vi å se på kapasitetene ved brann, uten å ta hensyn til lastene.

Vi har sett på bjelker, søyler og skråstag, da det var disse komponentene vi fant igjen i hovedbæresystemet i *Treet*. Lengdene og dimensjonene til tverrsnittene vi beregnet i den empiriske studien ble valgt ut fra hva vi mente var fornuftige. Oppsummert er avgrensningene vi har gjort som punktene under:

- Vi har kun sett på limtrekomponenter
- Vi har kun sett på komponentene som er brannbelastet fra tre sider
- Vi har sett på dimensjonering av limtre i både brudd- og ulykkestilstand
- Vi har kun sett på tverrsnittskapasiteter uten å ta hensyn til eventuelle laster
- Vi har tatt for oss et avgrenset antall tverrsnitt av bjelker, søyler og stag

- Vi har sett overordnet på klimagassutslippene fra trevareindustrien kontra betong- og stålindustrien
- Vi har sett overordnet på den økonomiske gevinsten en eventuell materialbesparelse kan gi
- Vi har branndimensjonert bjelkene, søylene og skråstagene i limtre i hovedbæresystemet i byggeprosjektet *Treet*

1.13 Brannteknisk dimensjonering

NS-EN 1995-1-1 beskriver prosjektering av trekonstruksjoner. I *NS-EN 1995-1-2, Brannteknisk dimensjonering* tas det hensyn til risikoklasse ved brann, bygningens bruk og konstruksjonens totale bæreevne. Standarden angir to fullstendige metoder for beregning av en konstruksjons bæreevne gjennom et fullstendig brannforløp; metoden med redusert tverrsnitt (MRT) og metoden med reduserte egenskaper (MRE). For begge metodene gjelder følgende:

- Skjær og trykk på tvers av fiberretningen behøver ikke kontrolleres. Ved utsparinger skal det dimensjoneres slik at det resterende tverrsnittet alltid er minst 60 prosent av det nødvendige ved normal temperatur
- Siden tverrsnittets slankhet øker ved en brann må dette tas hensyn til ved beregning av vipping og knekking. Det skal også tas hensyn til at eventuelle avstivinger for vipping / knekking kan brenne bort og skal kun regnes med dersom resttverrsnittet er minst 60 prosent av tverrsnittets areal ved normal temperatur
- Vi har valgt å ikke ta hensyn til hjørnenes avrunding ved brann da *NS-EN 1995-1-2* gir rom for dette

2 Metode

Opgaven er en empirisk studie som blir sammenliknet med en casestudie. Det har blitt gjort bruk av allerede eksisterende materiale, som branntekniske håndbøker (16, 18) og andre relevante dokumenter (6, 17, 19) for å bygge opp oppgaven. Beregningene våre gjør at vi finner ny informasjon som kan vise seg nyttig for andre parter på et senere tidspunkt. Resultatet av beregningene av bjelker, søyler og stag gir oss en del av resultatet vi leter etter. Den andre delen av resultatet kommer frem av casestudien basert på *Treet* i Bergen. Denne studien skal gi oss grunnlaget for å kunne sammenlikne beregningsresultatet av bjelkene, søylene og stagene med et realistisk bygg. Derfra skal vi kunne dra en slutning om de to ulike metodene, og hvilke konsekvenser dette har for materialbesparelsen.

2.1 *Treet*

Vi har utført en casestudie av *Treet* i Bergen, se figur 2.1. En casestudie innebærer å se på et objekt og anta at dette gjelder for alle liknende objekter. Da kan man trekke slutninger som beviser den påstanden man vil undersøke. I Bergen bygges det en boligblokk på 14 etasjer i løpet av 2014 – 2015. Det har et hovedbæresystem i tre med betongdekker i hver femte etasje. Prosjektet er prosjektert og konstruert av SWECO Norge AS, avdeling Lillehammer og det er brukt limtre fra Moelven Limtre AS.

Ved å se kun på hovedbæresystemet av tre utelukker man de andre komponentene i bæresystemet, og resultatet blir ikke så grundig som dersom man hadde tatt med hele bæresystemet. Dette fører til at denne casestudien kun viser hvordan våre resultater passer inn med dimensjonene i *Treet*. I IFC-filen var det kun oppgitt tverrsnittstørrelser på de ulike komponentene. Derfor valgte vi å sammenlikne deres kapasiteter, med våre tverrsnittskapasiteter, og slik se hvordan bruk av MRT på et virkelig bygg kan sammenliknes med beregninger ved bruk av både MRT og MRE.

Det skal være sagt at *Treet* er dimensjonert med MRT, og vi har forutsatt at de dimensjonene vi fikk var gode nok for å motstå en eventuell brann.



Figur 2.1 Bilde av *Treet* i Bergen. Gjengitt med tillatelse fra ARTEC AS (1).

2.2 Våre beregninger

Hovedstudien i denne oppgaven er en empirisk studie der fagstoff som allerede er godkjent i fagmiljøet har blitt gjort nytte av. I *NS-EN 1995-1-2* er det beskrevet to metoder for branndimensjonering. Disse to metodene har vært grunnlaget for vår oppgave. Vi har utført et antall beregninger. Ut i fra beregningsresultatene har vi kunnet si noe om hvilke kapasiteter vi får ved bruk av de forskjellige metodene.

På *bjelker* har vi sett på forskjellen mellom skjær- og momentkapasiteten, mens på *søylevtverrsnittene* har vi sett på trykkapasiteten. Ved *stagberegningene* har vi sett både på trykk- og strekkapasiteten. Vi har sett på 203 tverrsnitt. Da vi ikke tar hensyn til avrundning av hjørnene som i praksis alltid vil forekomme ved brann, sitter vi igjen med et mindre, fortsatt rektangulært tverrsnitt enn det vi har ved normaltemperatur.

Ved å bruke de to metodene fikk vi ut et resultat som fortalte oss hvor stor kapasitet de ulike komponentene hadde. Derfra regnet vi ut et gjennomsnitt av materialbesparelsen i prosent ved bruk av MRE i forhold til MRT, for både bjelker, søyler og stag. Der vi fikk negativt resultat er MRT metoden som gir størst besparelse.

For referanse til hver enkelt formel, se formellisten.

2.2.1 Metoden med redusert tverrsnitt (MRT)

Forenklet metode for reduksjon av tverrsnittets styrke og stivhet er gitt i *NS-EN 1995-1-2*, punkt 4.1 og 4.2.2 (4). Her ser vi på det effektive resterende tverrsnittet ved at det på alle branneksponte sider trekkes fra en forkulningsdybde, d_{ef} . Dette resttverrsnittets fasthetsegenskaper antar vi er upåvirket av brannen slik at dimensjonering i bruddgrensetilstand blir i henhold til *NS-EN 1995-1-1* (17).

$$\text{Forkulningsdybde: } d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (2.1)$$

hvor

$$k_0 = \begin{cases} 1,0t & \text{for } t < 20\text{min} \\ \frac{t}{20} & \text{for } t > 20\text{min} \end{cases} \quad (2.2)$$

$$d_0 = 7\text{mm} \quad (2.3)$$

$$d_{char,n} = \theta_n \cdot t \quad (2.4)$$

Fasthetsfaktor $k_{mod,fi}$ bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-1*, tabell 3.1, og materialfaktor $\gamma_{m,fi}$ bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-2*, pkt4.2.2(5)

2.2.2 Metoden med reduserte egenskaper (MRE)

I motsetning til MRT hvor tverrsnittets areal blir redusert med en forkulningsdybde, d_{ef} , reduseres her tverrsnittet med en nominell forkulningsdybde, $d_{char,n}$ slik det er angitt i *NS-EN 1995-1-2, punkt 4.1 og 4.2.3 (4)*. Denne beregningsmetoden er mindre konservativ, da det regnes med at treverkets stivhets- og fasthetsegenskaper reduseres når temperaturen øker.

$$\text{Nominell forkulningsdybde: } d_{char,n} = \theta_n \cdot t \quad (2.5)$$

hvor

$$\theta_n = 0,7 \text{ mm / min} \quad (2.6)$$

$k_{mod,fi}$ tar hensyn til temperaturens innvirkning på materialkvaliteten, og bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-2, (4.2), (4.3) og (4.4)*:

$$k_{mod,fi,i} = \begin{cases} \text{for bøyning: } k_{mod,fi,m} = 1 - \frac{1}{200} \cdot \frac{\rho}{A_r} \\ \text{for trykk: } k_{mod,fi,comp} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{\rho}{A_r} \\ \text{for strekk: } k_{mod,fi,ten} = 1 - \frac{1}{330} \cdot \frac{\rho}{A_r} \end{cases} \quad (2.7)$$

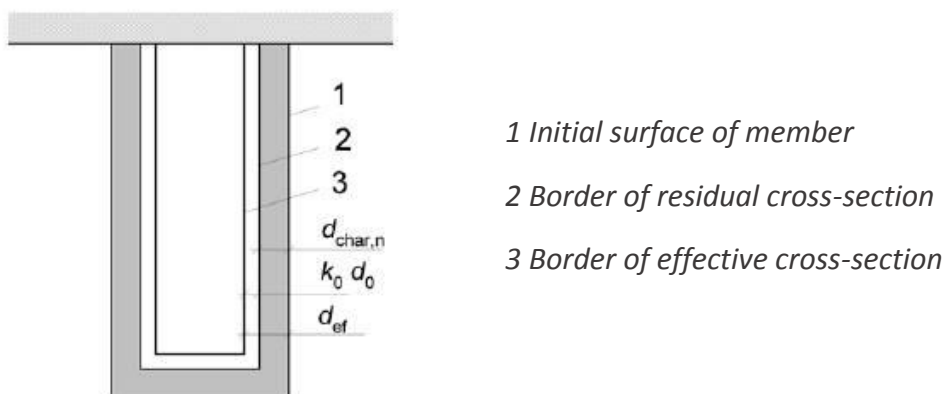
Materialfaktor $\gamma_{m,fi}$ bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-2, punkt 4.2.3(5)*.

2.2.3 Forskjell mellom tverrsnittsarealer

Da restarealet i våre beregninger er forskjellige i de to metodene for branndimensjonering har vi gitt de forskjellige navn.

I MRT har vi kalt restarealet: $A_{rest} = (b - d_{ef}) \cdot (h - 2 \cdot d_{ef})$

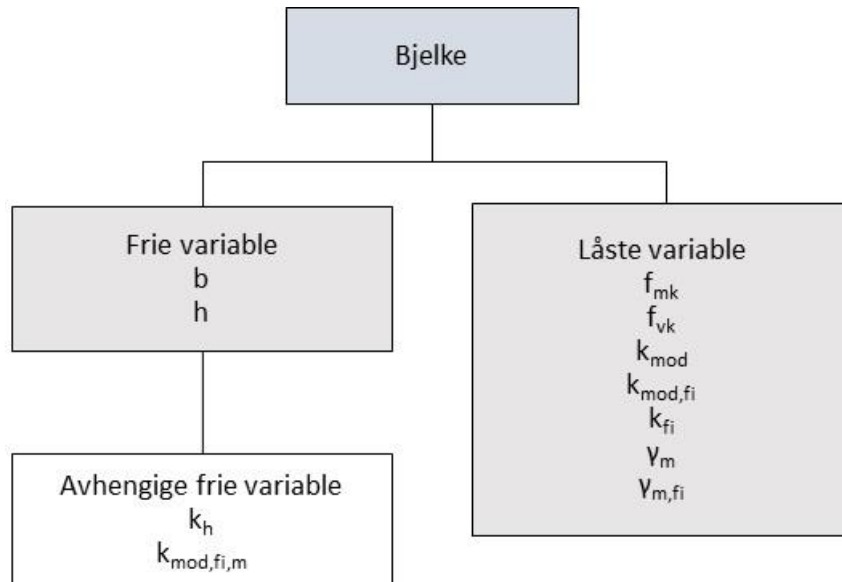
I MRE har vi kalt restarealet: $A_r = (b - d_{char,n}) \cdot (h - 2 \cdot d_{char,n})$



Figur 2.2 Figur 4.1 fra *NS-EN 1995-1-2* gjengitt med tillatelse fra Standard Norge (2).

2.2.4 Dimensjonering av bjelketverrsnitt

Ved dimensjonering av bjelketverrsnittene inngår det både frie og låste variabler. Se figur 2.3. De låste variablene er karakteristiske verdier som danner grunnlag for beregningene. De frie variable er geometriske variasjoner ved de forskjellige bjelketverrsnittene, og de avhengige frie variablene er de variablene som er avhengige av tverrsnittsarealet.



Figur 2.3 Frie og låste variable ved beregning av bjelketverrsnitt

2.2.4.1 Normaltilstand før brann

Fasthetsfaktor k_{mod} bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-1, tabell 3.1*, og materialfaktor γ_m bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-1, tabell NA 2.3*.

$$\text{Momentkapasitet: } M_{Rd} = f_{md} * W \quad (2.8)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende bøyefasthet: } f_{md} = \frac{f_{mk} * k_h * k_{mod}}{\gamma_m} \quad (2.9)$$

$$\text{Skjærkapasitet: } V_{Rd} = \frac{8}{15} * f_{vd} \quad (2.10)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende skjærfasthet: } f_{vd} = \frac{f_{vk} * k_{mod}}{\gamma_m} \quad (2.11)$$



2.2.4.2 Ved brann MRT

$$\text{Momentkapasitet: } M_{Rd,fi} = f_{md,fi} * W_{fi} \quad (2.12)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende bøyefasthet: } f_{md,fi} = \frac{f_{mk} * k_h * k_{mod,fi} * k_{fi}}{\gamma_{m,fi}} \quad (2.13)$$

$$\text{Skjærkapasitet: } V_{Rd,fi} = \frac{8}{15} * A_{Rest} * f_{vd,fi} \quad (2.14)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende skjærfasthet: } V_{Rd,fi} = \frac{8}{15} * A_{Rest} * f_{vd,fi} \quad (2.15)$$

2.2.4.3 Ved brann MRE

$$\text{Momentkapasitet: } M_{Rd,fi,m} = f_{md,fi,m} * W_{fi} \quad (2.16)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende bøyefasthet: } f_{md,fi,m} = \frac{f_{mk} * k_h * k_{mod,fi,m} * k_{fi}}{\gamma_{m,fi}} \quad (2.17)$$

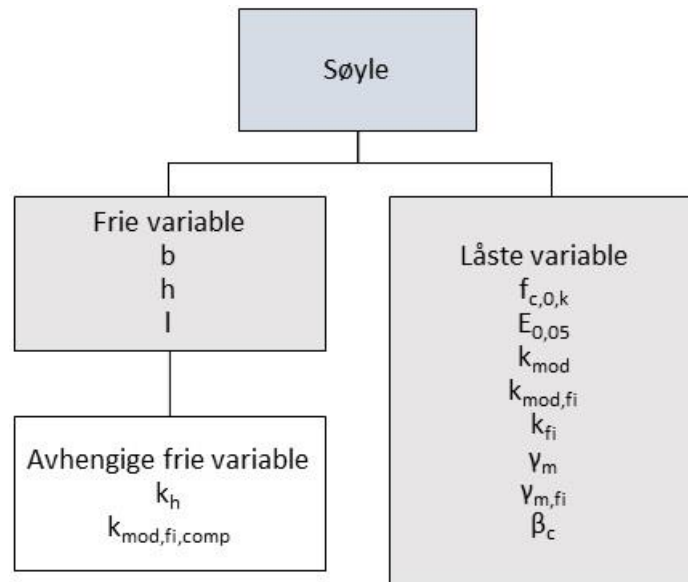
$$\text{Skjærkapasitet: } V_{Rd,fi,m} = \frac{8}{15} * A_r * f_{vd,fi,m} \quad (2.18)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende skjærfasthet: } f_{vd,fi,m} = \frac{f_{vk} * k_{mod,fi,m} * k_{fi}}{\gamma_{m,fi}} \quad (2.19)$$

2.2.5 Dimensjonering av søyler

Ved dimensjonering av søyletverrsnittene inngår det både frie og låste variabler. Se figur 2.4. De låste variablene er karakteristiske verdier som danner grunnlag for beregningene. De frie variable er geometriske variasjoner ved de forskjellige søyletverrsnittene, og variasjonene i lengden. De avhengige frie variablene er avhengige av tverrsnittsarealet.



Figur 2.4 Frie og låste variable ved beregning av søyler

2.2.5.1 Normaltilstand før brann

Fasthetsfaktor k_{mod} bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-1, tabell 3.1*, og materialfaktor γ_m bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-1, tabell NA 2.3*.

$$\text{Aksialkapasitet: } N_{c,Rd} = k_c * f_{c,0,d} * A \quad (2.20)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende trykkfasthet: } f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} * k_h * k_{mod}}{\gamma_m} \quad (2.21)$$

og

$$\text{knekkfaktor: } k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} \quad (2.22)$$

hvor

$$k = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) \quad (2.23)$$



$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (2.24)$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} \quad (2.25)$$

2.2.5.2 Ved brann MRT

$$\text{Aksialkapasitet: } N_{c,Rd,fi} = k_{c,fi} * f_{c,0,d,fi} * A_{rest} \quad (2.26)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende trykkfasthet: } f_{c,0,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} * f_{c,0,k} * k_{fi}}{\gamma_{m,fi}} \quad (2.27)$$

og

$$\text{Knekkfaktor: } k_{c,fi} = \frac{1}{k_{fi} + \sqrt{k_{fi}^2 - \lambda_{rel,fi}^2}} \quad (2.28)$$

hvor

$$k_{fi} = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,fi}^2) \quad (2.29)$$

$$\lambda_{rel,fi} = \frac{\lambda_{fi}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (2.30)$$

$$\lambda_{fi} = \frac{L_{cr}}{i_{fi}} \quad (2.31)$$

2.2.5.3 Ved brann MRE

$$\text{Aksialkapasitet: } N_{c,Rd,fi,comp} = k_{c,fi} * f_{c,0,d,fi,comp} * A_r \quad (2.32)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende trykkfasthet: } f_{c,0,d,fi,comp} = \frac{k_{mod,fi,comp} * f_{c,0,k} * k_{fi}}{\gamma_{m,fi}} \quad (2.33)$$

og

$$\text{trykkfaktor: } k_{c,fi} = \frac{1}{k_{fi} + \sqrt{k_{fi}^2 - \lambda_{rel,fi}^2}} \quad (2.34)$$

hvor:

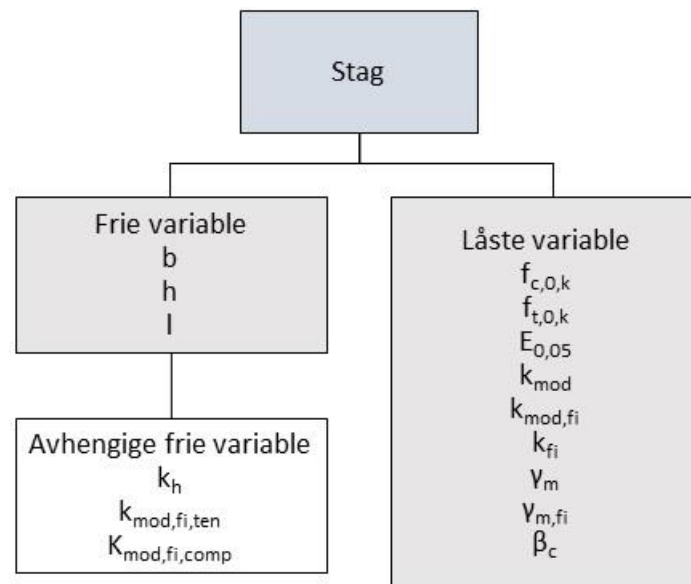
$$k_{fi} = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,fi}^2) \quad (2.35)$$

$$\lambda_{rel,fi} = \frac{\lambda_{fi}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (2.36)$$

$$\lambda_{fi} = \frac{L_{cr}}{i_{fi}} \quad (2.37)$$

2.2.6 Dimensjonering av stag

Ved dimensjonering av stagtverrsnittene inngår det både frie og låste variabler. Se figur 2.5. De låste variablene er karakteristiske verdier som danner grunnlag for beregningene. De frie variable er geometriske variasjoner ved de forskjellige stagtverrsnittene, og variasjonene i lengden. De avhengige frie variablene er avhengige av tverrsnittsarealet.



Figur 2.5 Frie og låste variable ved stagberegninger

2.2.6.1 Normaltilstand før brann

Fasthetsfaktor k_{mod} bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-1, tabell 3.1*, og materialfaktor γ_m bestemmes i henhold til *NS-EN 1995-1-1, tabell NA 2.3*.

$$\text{Trykkapasitet: } N_{c,Rd} = k_c * f_{c,0,d} * A \quad (2.38)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende trykkfasthet: } f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{c,0,k}}{\gamma_m} \quad (2.39)$$

og



$$\text{knekkfaktor: } k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} \quad (2.40)$$

hvor

$$k = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2) \quad (2.41)$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (2.42)$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} \quad (2.43)$$

$$\text{Strekkapasitet: } N_{t,Rd} = k_h * f_{t,0,d} * A \quad (2.44)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende strekkfasthet: } f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} * f_{t,0,k}}{\gamma_m} \quad (2.45)$$

2.2.6.2 Ved brann MRT

$$\text{Trykkapasitet: } N_{c,Rd,fi} = k_{c,fi} * f_{c,0,d,fi} * A_{rest} \quad (2.46)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende trykkfasthet: } f_{c,0,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} * f_{c,0,k} * k_{fi}}{\gamma_{m,fi}} \quad (2.47)$$

og

$$\text{knekkfaktor: } k_{c,fi} = \frac{1}{k_{fi} + \sqrt{k_{fi}^2 - \lambda_{rel,fi}^2}} \quad (2.48)$$

hvor

$$k_{fi} = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,fi}^2) \quad (2.49)$$

$$\lambda_{rel,fi} = \frac{\lambda_{fi}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (2.50)$$

$$\lambda_{fi} = \frac{L_{cr}}{i_{fi}} \quad (2.51)$$

$$\text{Strekkapasitet: } N_{t,Rd,fi} = k_h * f_{t,0,d,fi} * A_{rest} \quad (2.52)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende strekkapasitet: } f_{t,0,d,fi} = \frac{k_{mod,fi} * k_{fi} * f_{t,0,k}}{\gamma_{m,fi}} \quad (2.53)$$



2.2.6.3 Ved brann MRE

$$\text{Trykkkapasitet: } N_{c,Rd,fi,comp} = k_{c,fi} * f_{c,0,d,fi,comp} * A_r \quad (2.54)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende trykkfasthet: } f_{c,0,d,fi,comp} = \frac{k_{mod,fi,comp} * f_{c,0,k} * k_{fi}}{\gamma_{m,fi}} \quad (2.55)$$

og

$$\text{knekkfaktor: } k_{c,fi} = \frac{1}{k_{fi} + \sqrt{k_{fi}^2 - \lambda_{rel,fi}^2}} \quad (2.56)$$

hvor

$$k_{fi} = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,fi} - 0,3) + \lambda_{rel,fi}^2) \quad (2.57)$$

$$\lambda_{rel,fi} = \frac{\lambda_{fi}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (2.58)$$

$$\lambda_{fi} = \frac{L_{cr}}{i_{fi}} \quad (2.59)$$

$$\text{Strekkapasitet: } N_{t,Rd,fi,ten} = k_h * f_{t,0,d,fi,ten} * A_r \quad (2.60)$$

hvor

$$\text{dimensjonerende strekkfasthet: } N_{t,0,d,fi,ten} = \frac{k_{mod,fi,ten} * f_{t,0,k} * k_{fi}}{\gamma_{m,fi}} \quad (2.61)$$

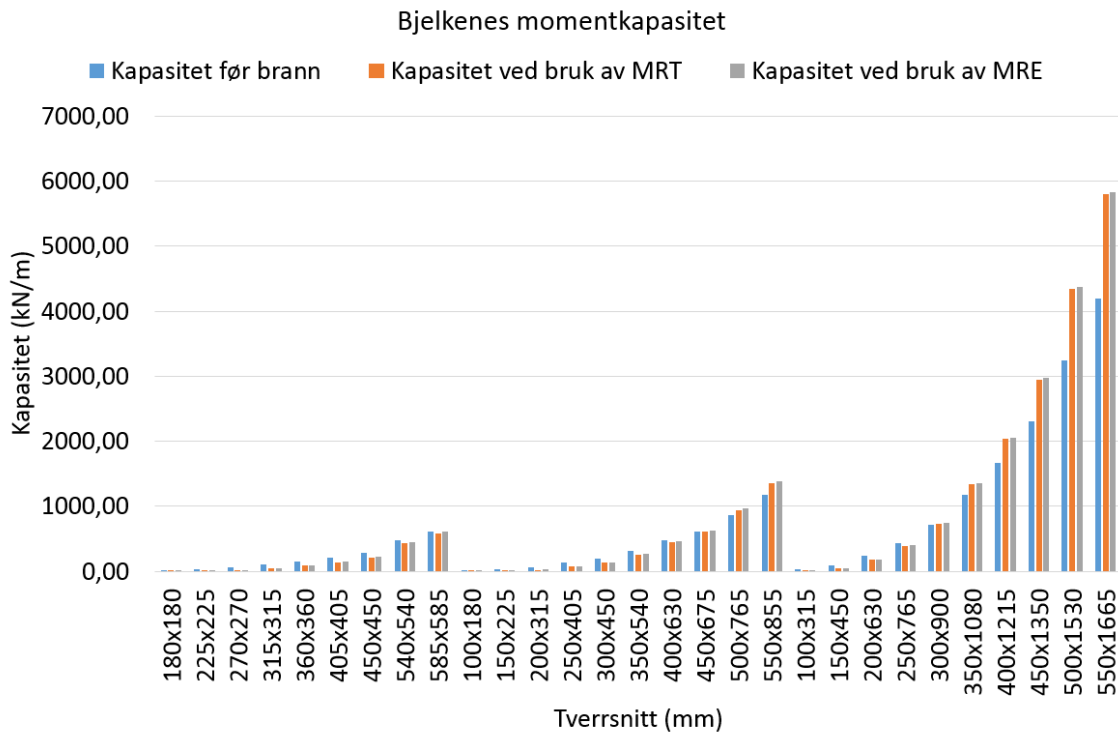
2.2.7 Beregninger

Som beskrevet tidligere har vi gjort en empirisk studie hvor vi har tatt for oss et stort antall tverrsnitt og beregnet deres kapasiteter. Vi har beregnet bjelkenes skjær- og momentkapasiteter og sett på kapasitetsforskjellene ved bruk av MRT og MRE. Ved beregning av søylene har vi sett på trykkkapasiteten, og på stagberegningene har vi sett på trykk- og strekkkapasiteten.

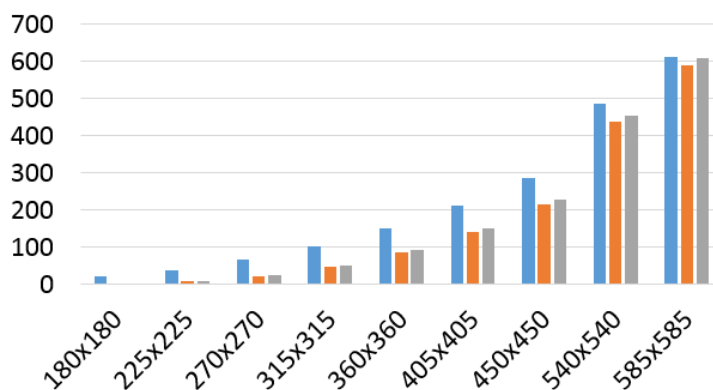
Vi viser her en grafisk fremstilling av svarene beregningene har gitt oss. Vi ser at de små differansene kommer dårlig frem av figurene. For et mer detaljert resultat i tabellform, se vedlegg A, B og C.

2.2.8 Bjelkeberegninger

I figur 2.6 under ser vi kapasiteten til de forskjellige bjelketverrsnittene når moment er dimensjonerende. MRE vil da alltid være dimensjoneringsmetoden som gir høyest kapasitet ved brann. Differansen mellom kapasiteten beregnet med MRE og MRT er størst for kvadratiske tverrsnitt. Jo slankere tverrsnittene er, jo mindre blir differansen.

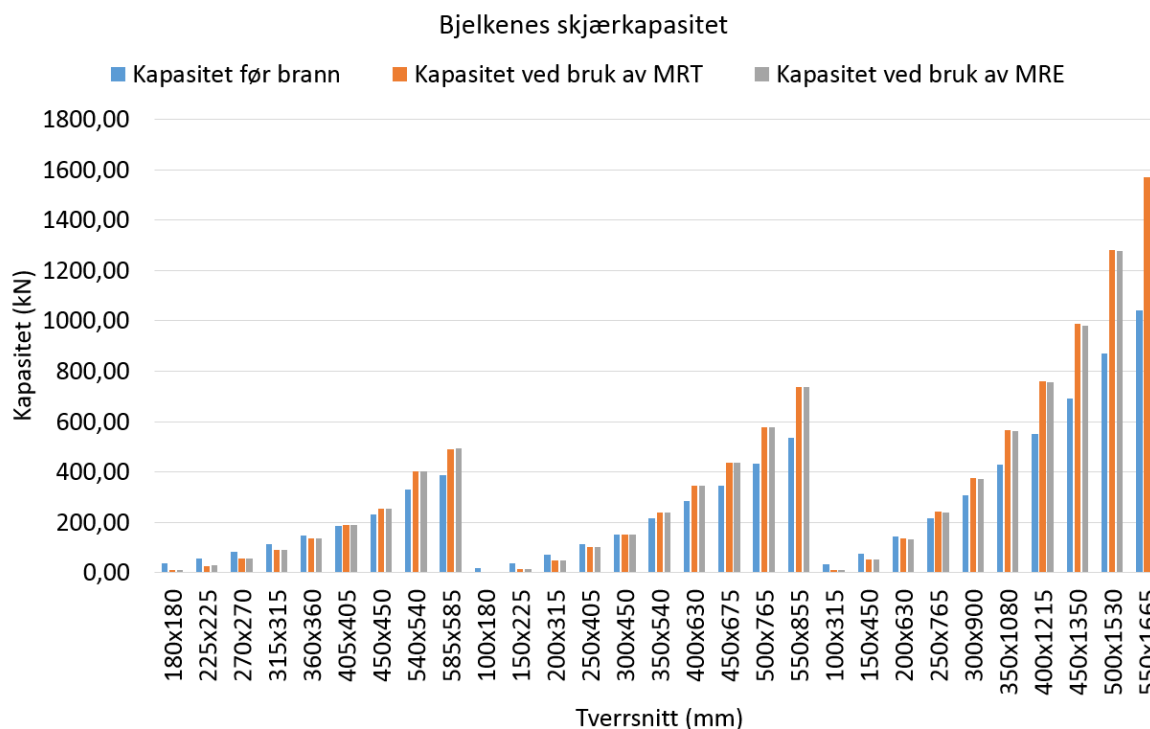


Figur 2.6 Bjelkens momentkapasitet

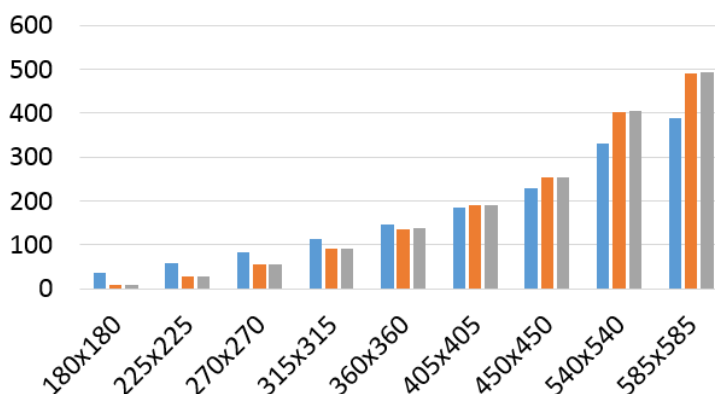


Figur 2.7 Utsnitt som viser de kvadratiske tverrsnittene

Når vi ser på kapasiteten til de forskjellige bjelketverrsnittene dersom skjær er dimensjonerende er situasjonen annerledes. Se figur 2.8. Vi ser da at MRE også her gir høyest kapasitet for de kvadratiske tverrsnittene, men når tverrsnittene blir slankere er MRT det beste valget av metode.



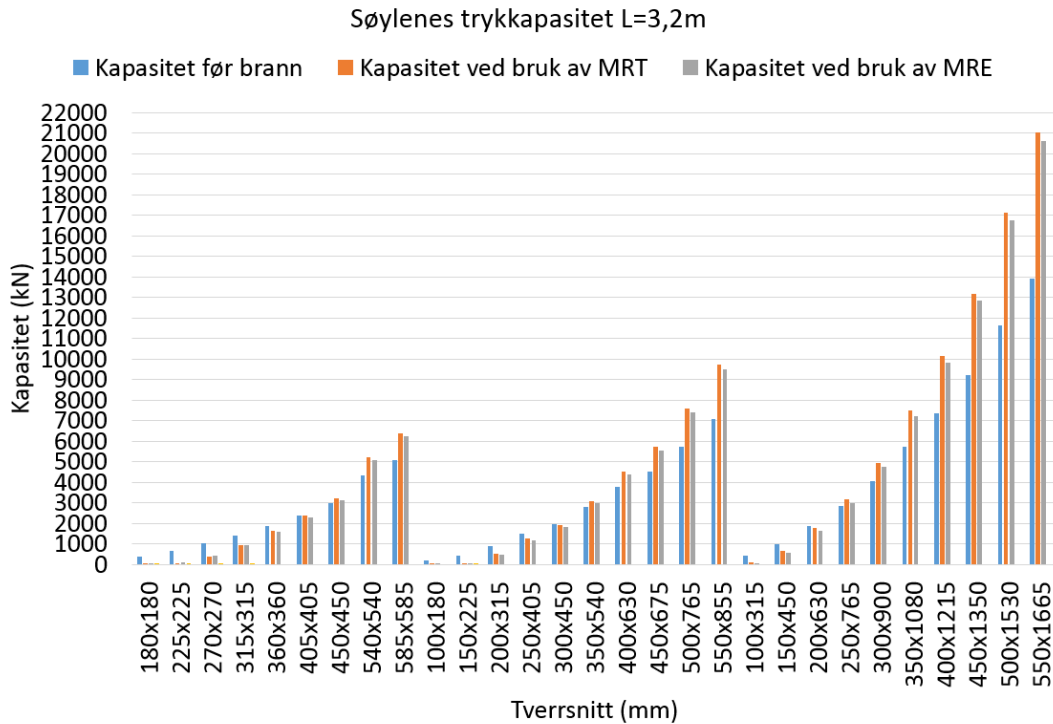
Figur 2.8 Bjelkenes skjærkapasitet



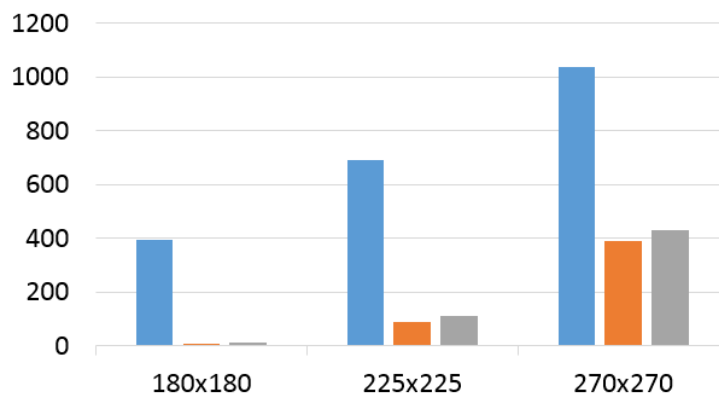
Figur 2.9 Utsnitt av figur 2.4

2.2.9 Søyleberegninger

I figur 2.10 ser vi kapasiteten til de forskjellige søyletverrsnittene når trykk er dimensjonerende og søylens lengde er 3,2 meter. Vi ser at MRE er den beste metoden for de minste kvadratiske tverrsnittene. Det vil si tverrsnittene fra 180 mm x 180 mm til 270 mm x 270 mm. For de resterende kvadratiske- og rektangulære tverrsnittene, er MRT metoden som gir størst trykkapasitet.

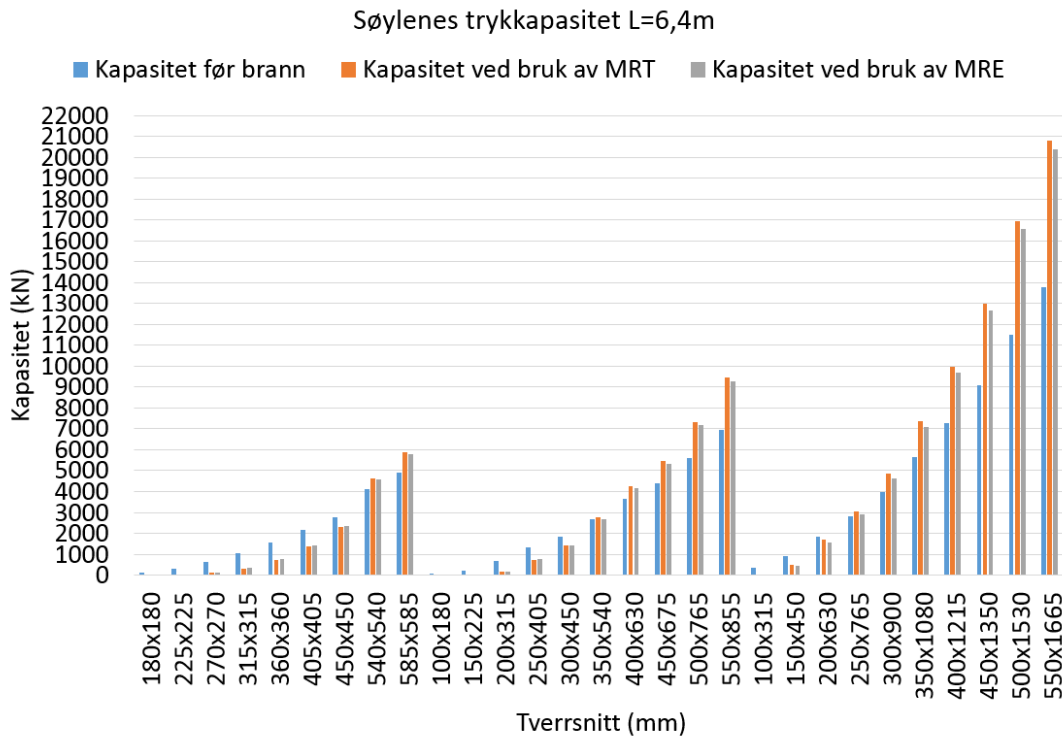


Figur 2.10 Søylens trykkapasitet ved lengde 3,2 meter

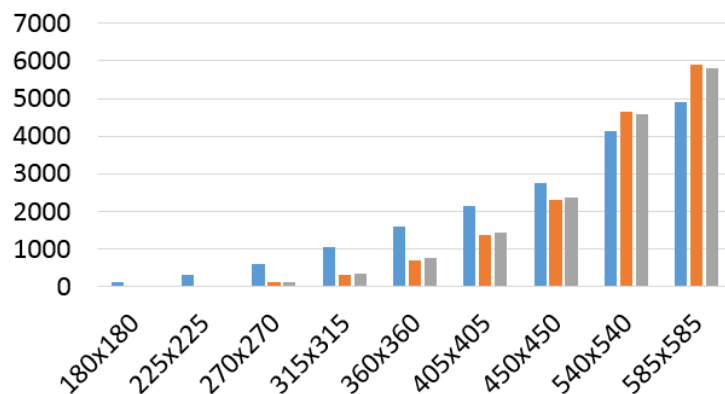


Figur 2.11 Utsnitt som viser søyletverrsnittene fra 180 mm x 180 mm til 270 mm x 270 mm

Dersom vi øker søylens lengde til 6,4 meter forandres trykkapasiteten til de forskjellige søyletverrsnittene. Se figur 2.12. Vi ser at de kvadratiske tverrsnittene har høyest trykkapasitet ved bruk av MRE. Når tverrsnittene blir slankere er MRT metoden som gir høyest kapasitet, men differansen mellom MRE og MRT er mindre her enn for søylene med lengde 3,2 meter.

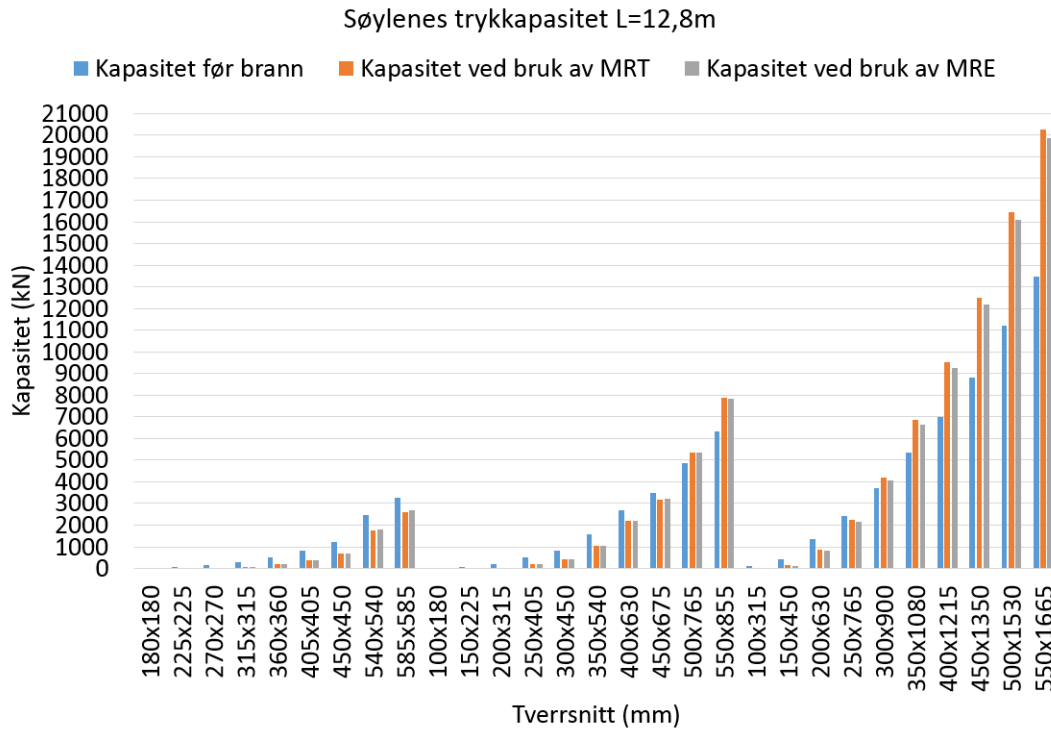


Figur 2.12 Søylenes trykkapasitet ved lengde 6,4 meter

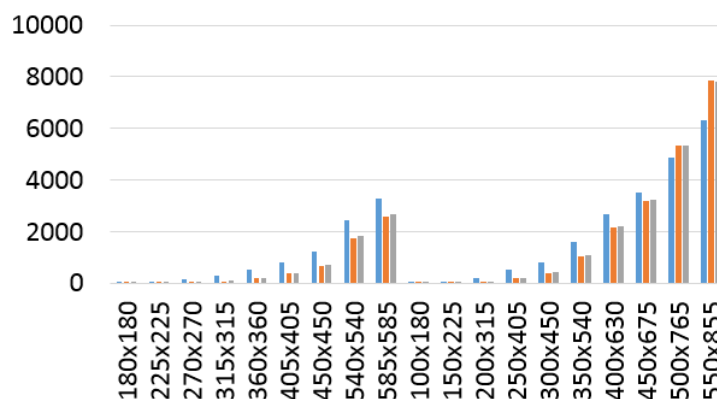


Figur 2.13 Utsnitt som viser de kvadratiske søyletverrsnittene

Når vi, som vist i figur 2.14, ser på trykkapasiteten til de forskjellige søyletverrsnittene med lengde 12,8 meter, ser vi samme tendens som for de kortere lengdene. Også her ser vi samme tendens, det vil si MRE er foretrukket metode for de kvadratiske tverrsnittene, men også for tverrsnittene med b/h forhold 2/3. For de slankeste tverrsnittene er fortsatt MRT metoden som gir størst kapasitet, se figur 2.15.



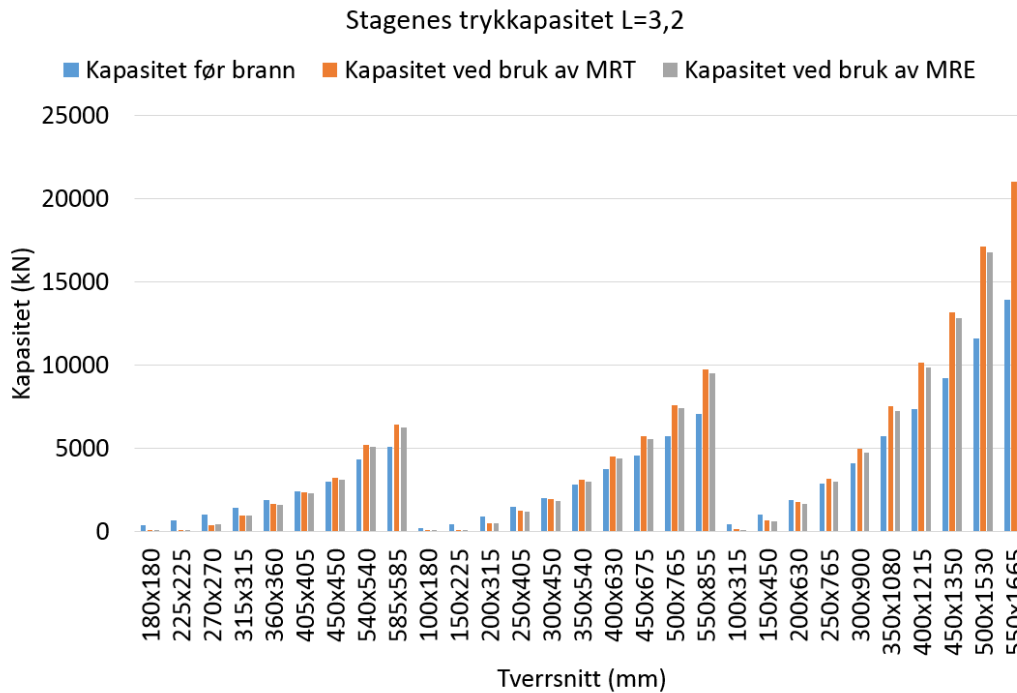
Figur 2.14 Søylenes trykkapasitet ved lengde 12,8 meter



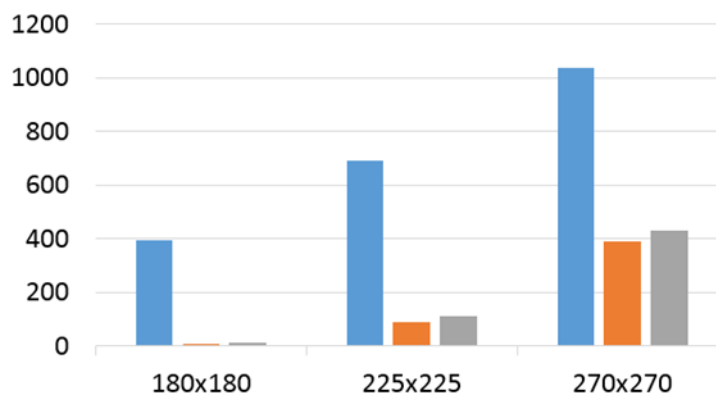
Figur 2.15 Utsnitt som viser søyletverrsnittene hvor MRE gir høyest kapasitet

2.2.10 Stagberegninger

I figur 2.16 under ser vi kapasiteten til stagtverrsnittene når trykk er dimensjonerende og stagets lengde er 3,2 meter. Vi ser at kapasiteten er lik som for søylene, noe som vil si at MRE er den beste metoden for de minste kvadratiske tverrsnittene fra 180 mm x 180 mm til 270 mm x 270 mm. For de resterende kvadratiske- og rektangulære tverrsnittene, er MRT metoden som gir størst trykkapasitet.

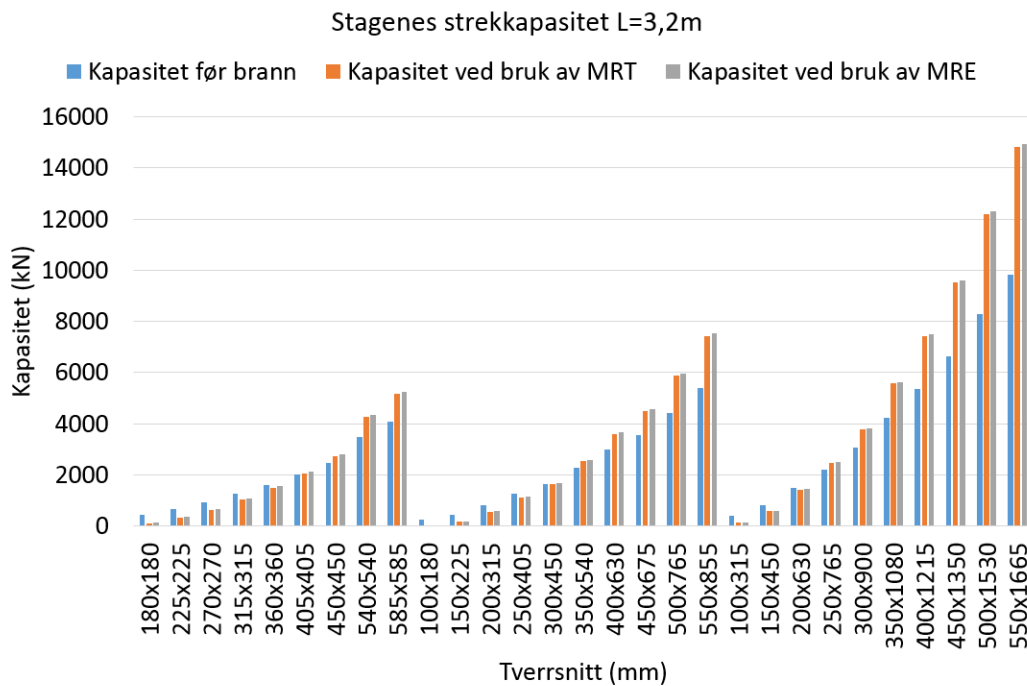


Figur 2.16 Stagens trykkapasitet ved lengde 3,2 meter



Figur 2.17 Utsnitt som viser stagtverrsnittene fra 180 mm x 180 mm til 270 mm x 270 mm

Når det gjelder stagenes strekkapasitet er MRE metoden som gir den høyeste kapasiteten. Se figur 2.18. Tendensen her er tydelig og lik for alle tverrsnittslengdene. Det er størst differanse mellom MRE og MRT for de kvadratiske tverrsnittene. Jo slankere tverrsnittene blir, jo mindre blir differansen.

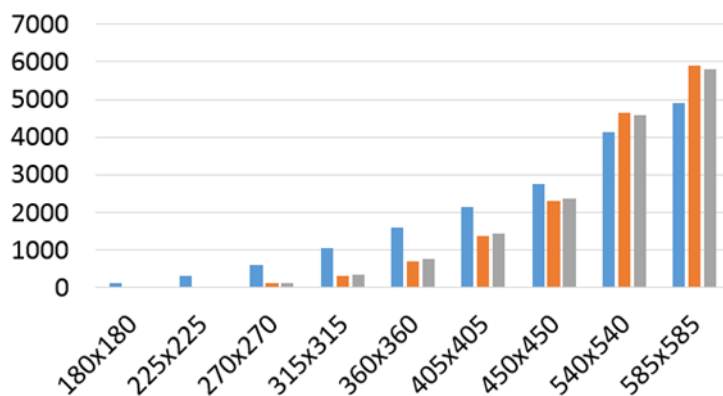


Figur 2.18 Stagenes strekkapasitet ved lengde 3,2 meter

I figur 2.19 ser vi hvordan trykkapasiteten forandres når vi øker stagenes lengde til 6,4 meter. Som ved søyleberegningene finner vi også her at de kvadratiske tverrsnittene har høyest trykkapasitet ved bruk av MRE. Når tverrsnittene blir slankere er MRT metoden som gir høyest kapasitet, men differansen mellom MRE og MRT er mindre her enn for stagene med lengde 3,2 meter.

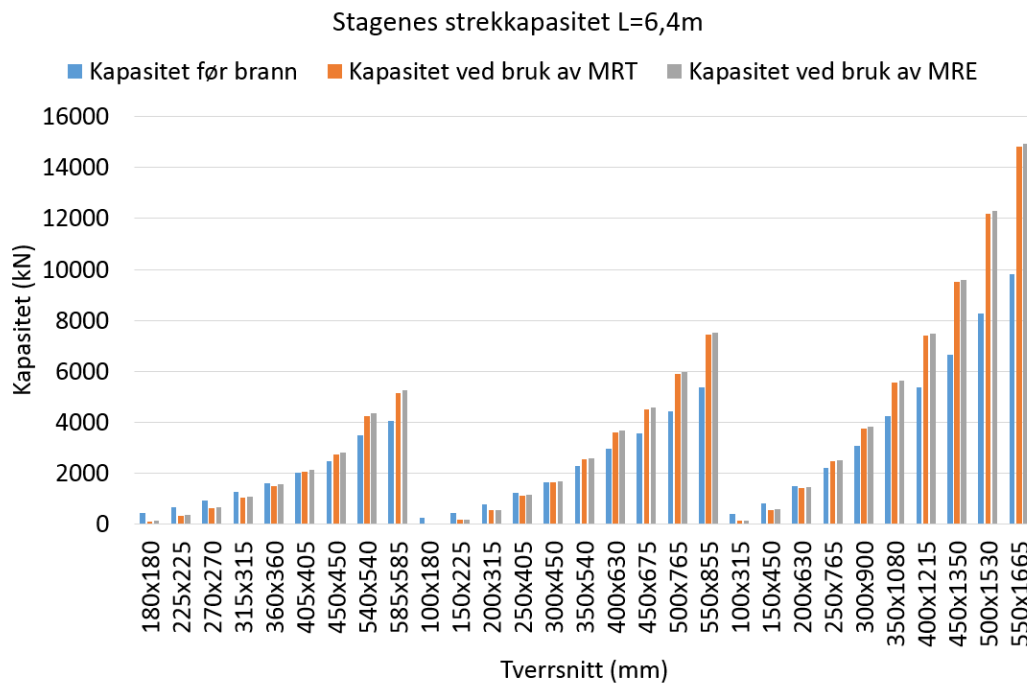


Figur 2.19 Stagenes trykkapasitet ved lengde 6,4 meter



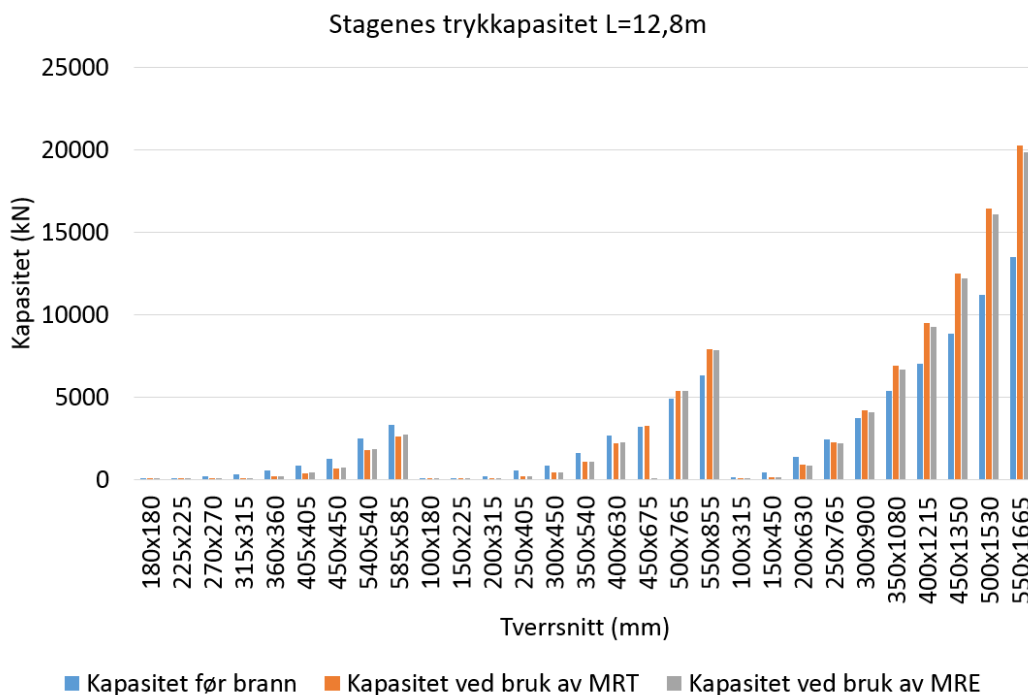
Figur 2.20 Utsnitt som viser de kvadratiske stagtverrsnittene

Tendensen vi ser i figur 2.21 for stagkapasiteten i strekk er den samme som beskrevet over. Det er størst differanse mellom MRE og MRT for de kvadratiske tverrsnittene, og jo slankere tverrsnittene blir, jo mindre blir også differansen.

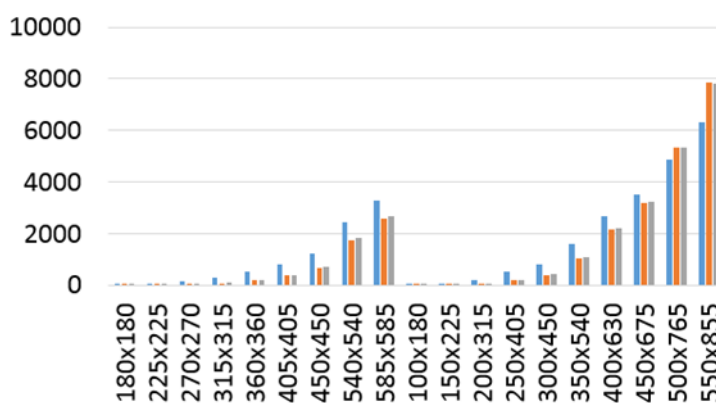


Figur 2.21 Stagens strekkkapasitet ved lengde 6,4 meter

Som vi ser av figur 2.22 har stagtverrsnittene med lengde 12,8 meter samme tydelige tendens som de kortere lengdene. Her er MRE foretrukket metode både for de kvadratiske tverrsnittene, og for tverrsnittene med b/h forhold 2/3. For de slankeste tverrsnittene er fortsatt MRT metoden som gir størst trykkapasitet.

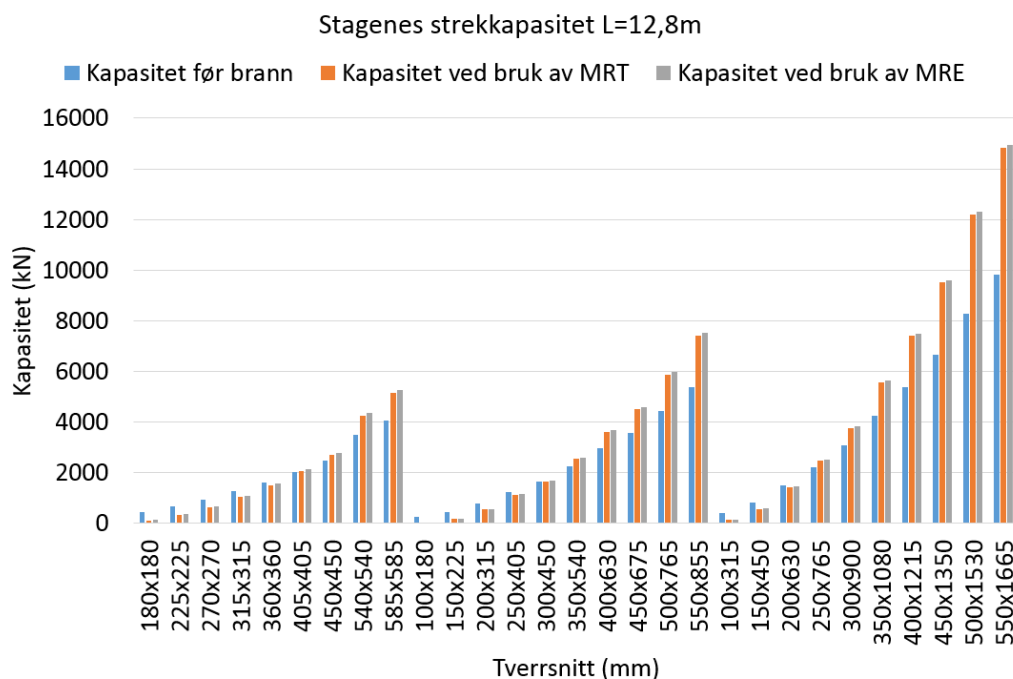


Figur 2.22 Stagenes trykkapasitet ved lengde 12,8 meter



Figur 2.23 Utsnitt som viser stagtverrsnittene hvor MRE gir høyest kapasitet

Også for stagtverrsnittene vist i figur 2.24, er strekkkapasitet lik som den vi kan se i figur 2.18 og figur 2.21. MRE er den metoden som gir den høyeste kapasiteten, og tendensen er tydelig lik for alle tverrsnittslengdene. Størst differanse er det mellom MRE og MRT for de kvadratiske tverrsnittene. Jo slankere tverrsnittene blir, jo mindre blir også differansen.



Figur 2.24 Stagens strekkkapasitet ved lengde 12,8 meter

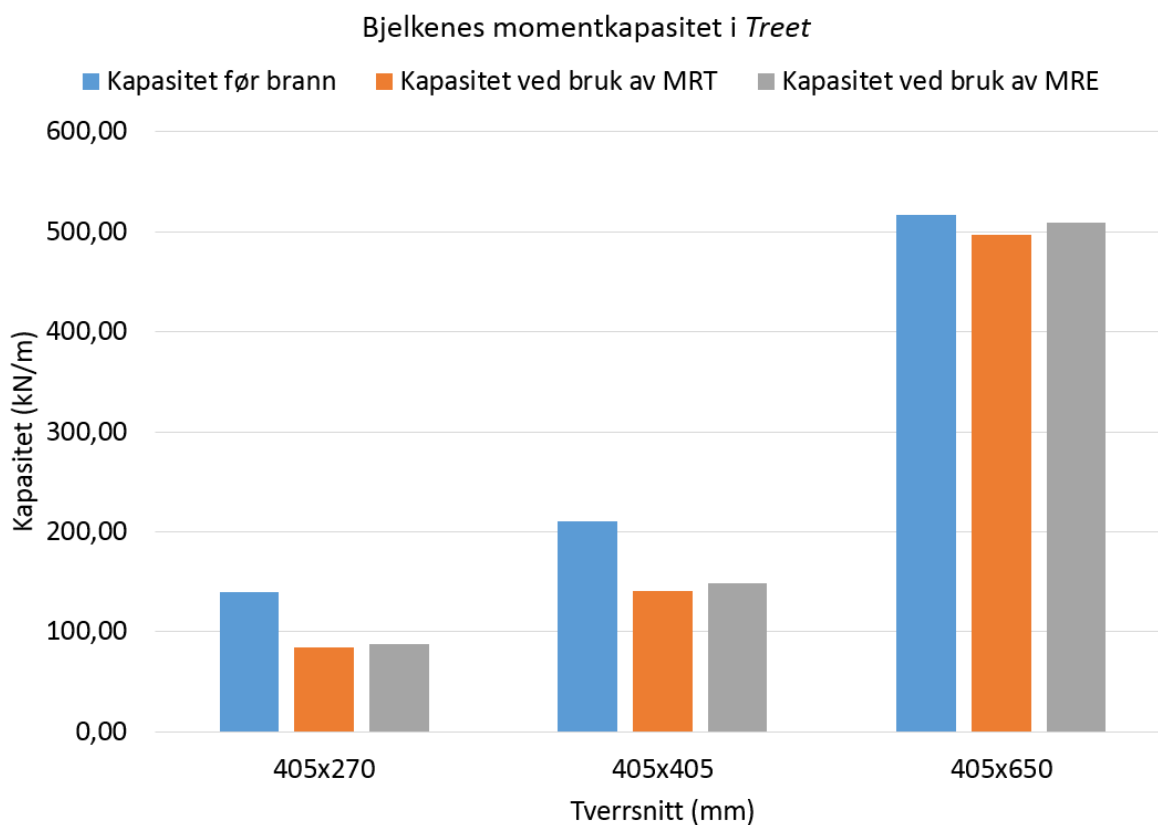
2.3 Beregningene av *Treet*

Som beskrevet tidligere har vi gjort en casestudie av *Treet* i Bergen. I denne studien har vi tatt de dimensjonene vi fikk fra SWECO Norge AS, avdeling Lillehammer og utført branndimensjonering ved bruk av MRT og MRE.

Vi viser her en grafisk fremstilling av svarene beregningene har gitt oss. Vi ser at de små differansene kommer dårlig frem av figurene. For et mer detaljert resultat i tabellform, se vedlegg D.

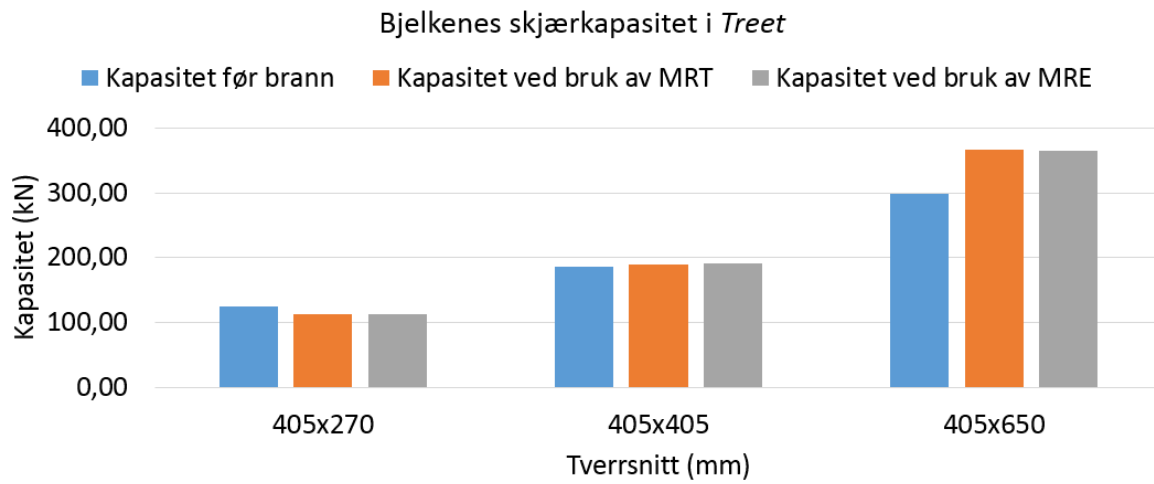
2.3.1 Bjelkeberegningene av *Treet*

I figur 2.25 under kan vi se momentkapasitetene til de forskjellige bjelketverrsnittene benyttet i hovedbæresystemet ved bygging av *Treet* i Bergen. Vi kan se at MRE er den dimensjoneringsmetoden som gir høyest kapasitet.



Figur 2.25 Bjelkenes momentkapasitet i *Treet*

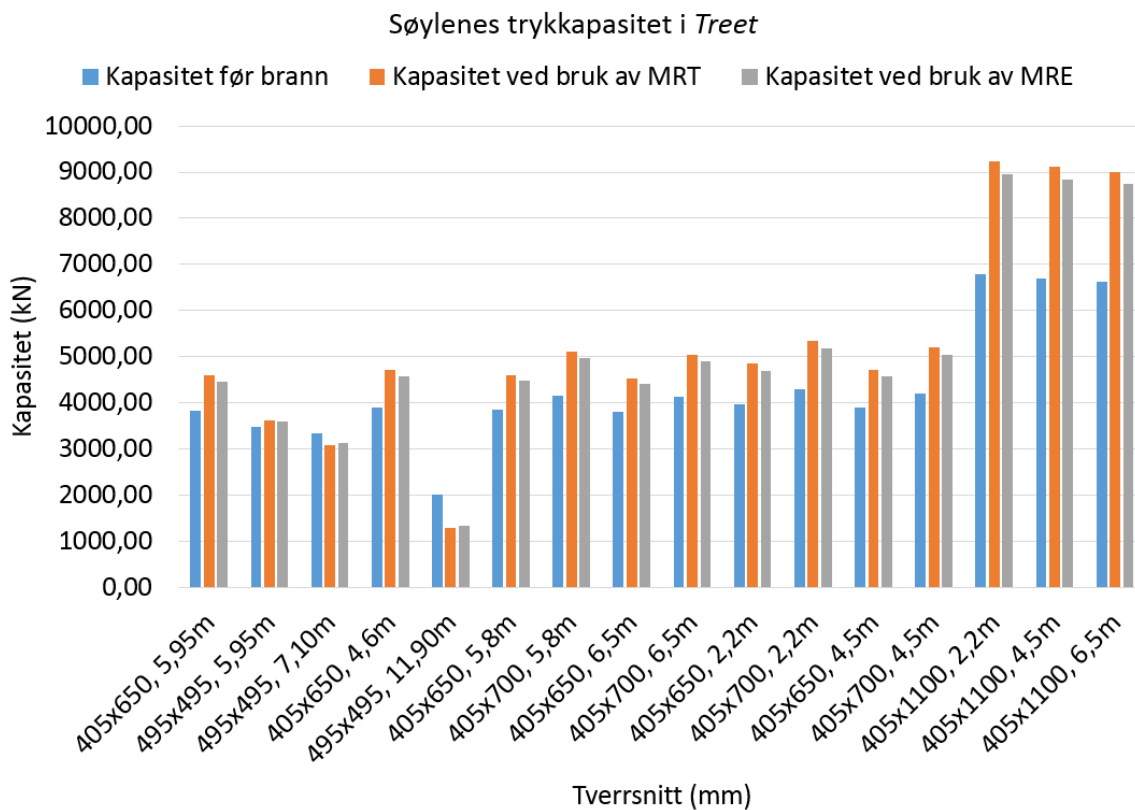
Dersom skjær er dimensjonerende ser vi i figur 2.26 under, at MRE gir litt høyere kapasitet ved rektangulære tverrsnitt, mens MRT er den beste metoden på de slankere tverrsnittene.



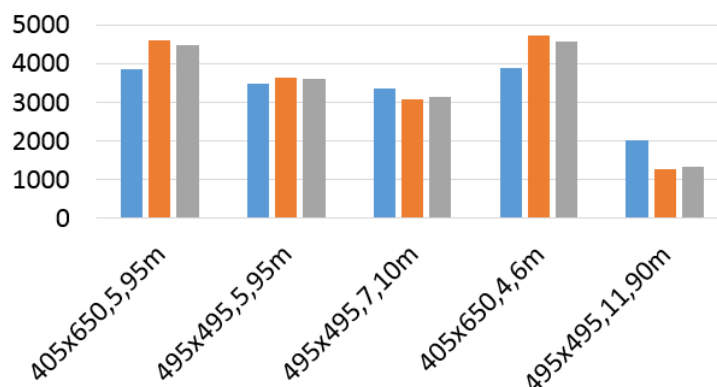
Figur 2.26 Bjelkenes skjærkapasitet i Treet

2.3.2 Søyleberegningene av Treet

I figur 2.27 ser vi trykkapasiteten til de forskjellige søyletverrsnittene når søylenes lengde er varierende. Vi kan se at MRE er den beste metoden for de kvadratiske tverrsnittene. Det vil si tverrsnittene 495 mm x 495 mm, $l = 7,1$ meter og 495 mm x 495 mm, $l = 11,9$ meter. For de resterende kvadratiske og rektangulære tverrsnittene, er MRT metoden som gir størst trykkapasitet.



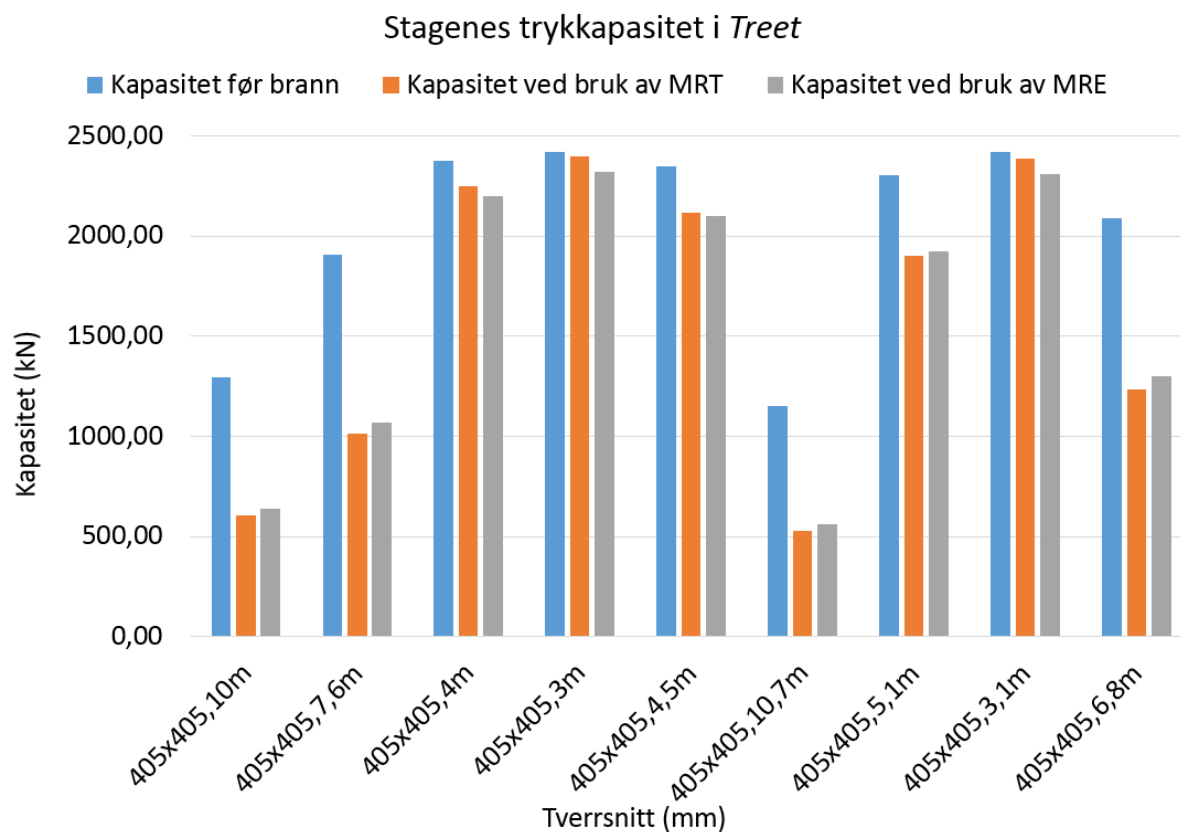
Figur 2.27 Søylenes trykkapasitet i Treet



Figur 2.28 Utsnitt som viser tverrsnittene 495 mm x 495 mm, $l = 7,1$ meter og 495 mm x 495 mm, $l = 11,9$ meter

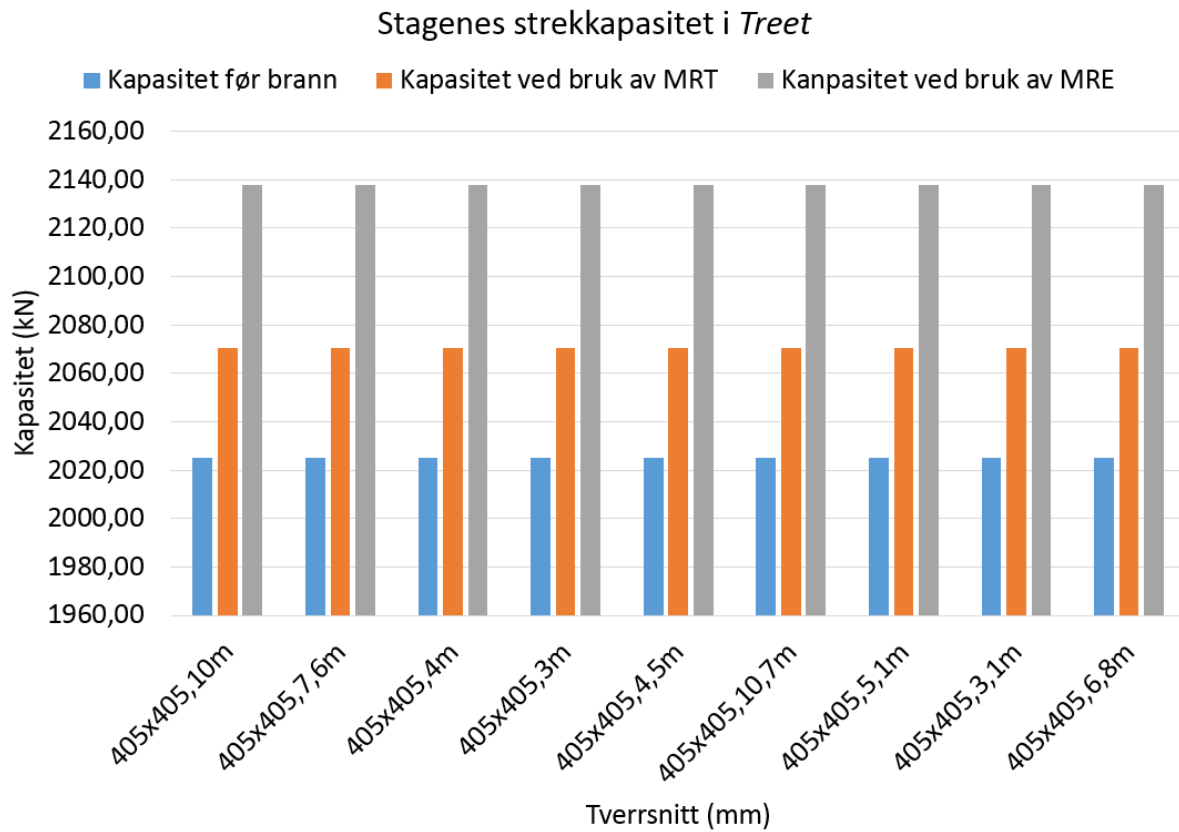
2.3.3 Stagberegningene av Treet

I figur 2.29 under vises trykkkapasiteten til stagtverrsnittene når lengden er varierende. Her har vi kun kvadratiske tverrsnitt på 405 mm x 405 mm, og vi ser at for de aller fleste er MRE den metoden som gir størst kapasitet. Unntakene er de korte stagene med lengde under 4,5 meter. Her gir MRT størst kapasitet.



Figur 2.29 Stagens trykkkapasitet i Treet

Figur 2.30 viser strekkapasiteten til stagverrsnittene når stagenes lengde er varierende. Da stagenes lengde ikke har noe å si for strekkapasiteten er det tydelig å se at vi i dette tilfellet får størst kapasitet ved bruk av MRE.



Figur 2.30 Stagenes strekkapasitet i Treet

3 Resultat og analyse

3.1 Resultatet av våre beregninger

Her vises svarene vi fikk av beregningene på bjelkene, søylene og stagene. I tabell 3.1 under kan vi se et sammendrag av beregningene av spart tverrsnittsareal ved bruk av MRE sammenliknet med bruk av MRT, vist i prosent. De negative verdiene viser hvor MRT gir størst materialbesparelse, mens de positive viser hvor MRE gir størst besparelse.

Sammendrag av materialbesparelsen ved et utvalg av tverrsnitt							
Bygningsdel	Nr.	Lengde [m]	b / h	Gjennomsnittlig spart tverrsnittsareal ved bruk av MRE i forhold til bruk av MRT gitt i %			
				Skjær	Moment	Trykk	Strekk
Bjelke	1	-	3/3	2,93	10,81	-	-
	2		2/3	-1,41	9,45	-	-
	3		1/3	-5,72	5,87	-	-
Søyle	4	3,2	3/3	-	-	-0,71	-
	5		2/3	-	-	-2,79	-
	6		1/3	-	-	-5,39	-
	7	6,4	3/3	-	-	1,27	-
	8		2/3	-	-	-1,12	-
	9		1/3	-	-	-4,32	-
	10	12,8	3/3	-	-	2,12	-
	11		2/3	-	-	0,86	-
	12		1/3	-	-	-3,00	-
Stag	13	3,2	3/3	-	-	-0,71	3,71
	14		2/3	-	-	-2,79	2,67
	15		1/3	-	-	-5,39	1,71
	16	6,4	3/3	-	-	1,27	3,71
	17		2/3	-	-	-1,12	2,67
	18		1/3	-	-	-4,32	1,71
	19	12,8	3/3	-	-	2,12	3,71
	20		2/3	-	-	0,86	2,67
	21		1/3	-	-	-3,00	1,71

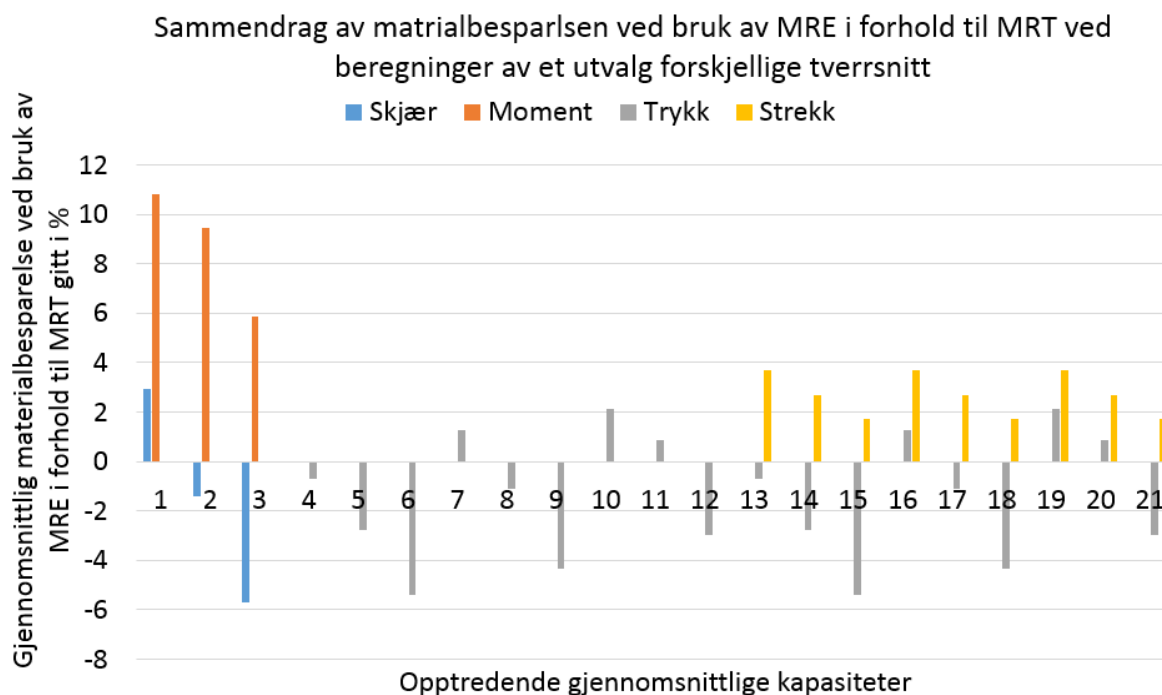
Tabell 3.1 Oversikt over gjennomsnittlig materialbesparelse i prosent

Dersom bjelketverrsnittene er kvadratiske og moment er dimensjonerende kan en gjennomsnittlig spare opp mot 10,8 prosent trevirke. Besparelsen blir mindre jo slankere tverrsnittet blir.

For søylene derimot varierer det hvilken metode som er å foretrekke avhengig av hva slags tverrsnitt søylen har. Ved kvadratiske tverrsnitt vil MRE være mest lønnsom, mens det for slankere tverrsnitt viser seg at bruk av MRT gir den største materialbesparelsen.

I beregningene av stagene ser vi at trykkapasiteten blir som for søylene. Dette betyr at vi får samme situasjon for rektangulære tverrsnitt, og det vil være en materialbesparelse på 2,12 prosent ved bruk av MRE.

Når det gjelder strekkapasiteten er MRT metoden som gir høyest materialbesparelse. Tendensen her er tydelig og lik for alle tverrsnittslengdene. Størst differanse er det mellom MRE og MRT for de rektangulære tverrsnittene. For de slankere tverrsnittene går differansen mot null.



Figur 3.1 Grafisk fremstilling av gjennomsnittlig materialbesparelse

3.2 Resultat av beregningene av *Treet*

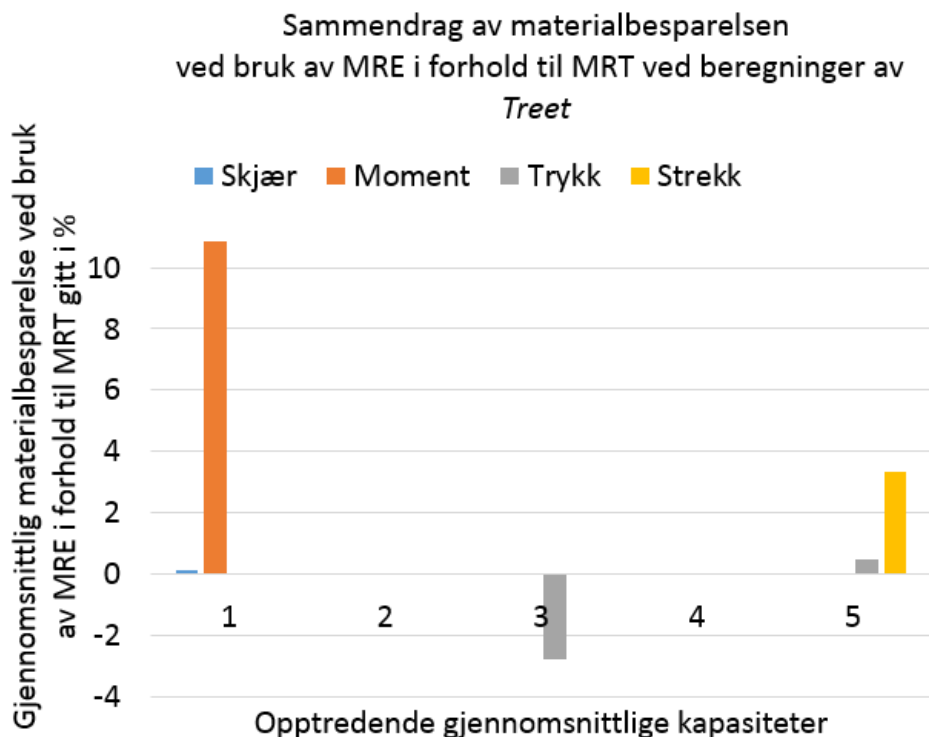
I tabell 3.2 vises et kort sammendrag av materialbesparelsen ved hovedbæresystemet i *Treet* ved de forskjellige dimensjoneringsmetodene. De positive verdiene viser hvor MRE er den beste metoden, mens de negative viser hvor MRT gir størst besparelse.

Spart tverrsnittsareal ved bruk av MRE i forhold til MRT i % ut fra beregninger av <i>Treet</i>					
Bygningsdel	Nr.	Gjennomsnittlig spart areal ved bruk av MRE i forhold til bruk av MRT gitt i %			
		Skjær	Moment	Trykk	Strekk
Bjelke	1	0,15	10,84	-	-
Søyle	2	-	-	2,77	-
Stag	3	-	-	0,49	3,32

Tabell 3.2 Oversikt over gjennomsnittlig materialbesparelse i *Treet*

Når vi her sammenlikner våre resultater av beregningene gjort på et utvalg tverrsnitt, ser vi at det er en materialbesparelse på et bygg som *Treet*. Dersom bjelkene er utsatt for et dimensjonerende moment ser vi av tabell 3.2 at vi kunne spart helt opp mot 10,8 prosent ved bruk av MRE i stedet for MRT.

Da vi har rektangulære stag og søyler kan vi også her spare litt tverrsnittsareal dersom det er trykk som er dimensjonerende for disse komponentene.



Figur 3.2 Grafisk fremstilling av materialbesparelsen i *Treet*

3.2.1 Analyse av spart trevirke i *Treet*

Verdiene i tabell 3.3 viser et overslag på hvor mye trevirke som kunne vært spart dersom MRE var benyttet som dimensjoneringsmetode ved *Treet* i Bergen. Der dette tallet er negativt er MRT metoden som gir det minste tverrsnittet.

Til grunn for verdiene i tabell 3.3 og tabell 3.4 ligger prosentdelen av gjennomsnittlig spart tverrsnittsareal som vi fant da vi gjorde beregninger av *Treet*. Tabell 3.2. Basert på opplysningene i IFC-filen fra Sweco, har vi beregnet det totale materialforbruket i hovedbæresystemet til 540 kubikkmeter. Dette tilsvarer 100 prosent i tabell 3.3.

For at denne studieoppgaven skulle tilsvare 20 studiepoeng måtte vi sette noen begrensninger. I oppgaven har vi, som nevnt tidligere, kun sett på hovedbæresystemet uten å ha tatt hensyn til de andre komponentene. Våre resultater er derfor ikke så nøyaktige som om vi hadde tatt med alle komponentene, men viser et overslag over hvor stor besparelsen kunne vært ved bruk av MRE.

Materialbesparelse i <i>Treet</i> oppgitt i m ³						
Bygningsdel	Materialforbruk i m ³	Materialforbruk i %	Gjennomsnittlig materialbesparelse ved bruk av MRE i forhold til MRT oppgitt i m ³			
			Skjær	Moment	Trykk	Strekk
Bjelke	145	27	0,2	16	-	-
Søyle	164	30	-	-	-5	-
Stag	227	43	-	-	1	8

Tabell 3.3 Materialbesparelsen i *Treet* gitt i kubikkmeter

På bjelkene ville bruk av MRE vært metoden som ga størst besparelse dersom både moment og skjær var dimensjonerende. Besparelsen er forholdsvis liten dersom vi ser på skjærkapasiteten, men for moment kunne en spart 16 kubikkmeter limtre bare på bjelkene i hovedbæresystemet.

På søylene derimot, lønner det seg å bruke MRT. Materialforbruket er da fem kubikkmeter mindre enn ved bruk av MRE. Det er kun søylene som får mindre materialforbruk med MRT.

Stagberegningen gir også et resultat som viser at MRE er den mest lønnsomme metoden med tanke på materialforbruk. Det ville vært mulig å spare opp mot åtte kubikkmeter trevirke dersom strekkapasiteten var dimensjonerende. Der hvor trykk er dimensjonerende er besparelsen mye mindre, men også her er MRE den mest lønnsomme metoden.

Redusert materialforbruk gir en miljøgevinst ved at mindre forbruk gir mindre utslipp. Tabell 3.4 viser et overslag over reduksjonen i klimagassutslipp ved bruk av MRE i forhold til MRT. Vi har lagt til grunn at tre i utgangspunktet binder mer karbondioksid i vekstperioden enn

det slipper ut gjennom de senere fasene. Derfor har én kubikkmeter limtre et utslipp på -630 kilogram CO₂-ekvivalenter (25).

Materialbesparelse i Treet oppgitt i kg CO ₂ - ekvivalenter						
Bygningsdel	Materialforbruk i m ³	Materialforbruk i %	Gjennomsnittlig materialbesparelse ved bruk av MRE i forhold til MRT oppgitt i kg CO ₂ - ekvivalenter			
			Skjær	Moment	Trykk	Strekk
Bjelke	145	27	137	9 886	-	-
Søyle	164	30	-	-	-2 896	-
Stag	227	43	-	-	714	4 744

Tabell 3.4 Miljøgevinst ved materialbesparelse ved Treet i Bergen gitt i kg CO₂-ekvivalenter

Redusert materialforbruk vil også være økonomisk gunstig. Hvor stor den økonomiske besparelsen vil være på dette prosjektet avhenger av mange faktorer. Blant annet vil materialpriser og utgifter til transport og lagring spille en stor rolle. Det ville vært en egen oppgave å se på økonomien til et prosjekt som *Treet*. Vi nøyer oss derfor med å si at materialbesparelse gir en økonomisk gevinst.

4 Diskusjon

4.1 Bakgrunn

I Stortingsmelding 21 av 2011 – 2012 (6), meldes det at Norge skal bli karbonnøytrale innen 2050. Da vil blant annet mindre ressursbruk i byggeindustrien bli viktig for samfunnet. Klimagassutslippet til atmosfæren fra treindustrien er betydelig mindre enn fra betong- og stålindustrien. I Norge er tre i tillegg et kortreist byggemateriale, noe som betyr at bruk av tre i norske bygninger har positiv innvirkning på utslipp i forbindelse med transport. Vi har råvaren, og vi har industrien. Vi har også lange tradisjoner med tre som byggemateriale. Ettersom det i dag reises flere høyhus i tre enn tidligere, viser dette at interessen for bruk av tre i bygninger er økende. Høyere kunnskapsnivå om bruk av tre, bedre byggetekniske muligheter og miljømessige faktorer gjør seg gjeldende her. Dette er positivt med tanke på videreutvikling av tre som byggemateriale.

Denne oppgaven viser at trebygninger kan gjøres enda mer miljøvennlige ved å være bevisst på hvilken branndimensjoneringsmetode som er mest materialbesparende. *NS-EN 1995-1-2* (4) beskriver to metoder for branndimensjonering av trekonstruksjoner. Ved kun å benytte én av metodene ved dimensjoneringen av hovedbæresystemet risikerer en at deler av bæresystemet blir overdimensjonert. Dette betyr at riktig valg av metode for branndimensjonering kan bidra til materialbesparelser.

Vi har tidligere funnet at et bygg som *Treet* i Bergen har brannkrav R 90 A2-s1, d0 [A 90], det vil si at konstruksjonen må stå igjennom et 90 minutters brannbrannforløp. Etter vår vurdering er våre beregninger representative for andre bygg med samme brannkrav.

4.2 Resultater og analyse

For å beregne kapasiteten til de tilfeldig valgte tverrsnittene vi har sett på, har vi utført en empirisk studie ved å bruke formlene til de to dimensjoneringsmetodene beskrevet i *NS-EN 1995-1-2*. For bjelkene var det tydelig at dersom moment var dimensjonerende ville MRE alltid gi høyest kapasitet. Vi så allikevel at differansen mellom MRE og MRT ble mindre når tverrsnittene ble slankere. Det kunne derfor vært interessant å se på tverrsnitt som er slankere enn b/h-forholdet 1/3 for å finne ut når MRE ikke lenger gir den høyeste kapasiteten.

Dersom vi antar at skjær er dimensjonerende, er ikke MRE lenger nødvendigvis den beste metoden. For de kvadratiske tverrsnittene får vi høyest kapasitet ved bruk av MRE. For de slankere tverrsnittene vil MRT være metoden som gir høyest kapasitet. Siden bjelkene i en konstruksjon svært sjelden er kvadratiske, ser vi for oss at dersom vi skal forsvare bruk av MRE i stedet for MRT bør momentkapasiteten være dimensjonerende.

Ved beregning av søylenes trykkapasitet, er det tatt hensyn til knekking. Søylenes knekk lengde har stor innvirkning på søylenes kapasitet. Her får vi ikke et like entydig svar på hvilken av metodene som gir høyest kapasitet, men vi ser allikevel en interessant tendens.

For de korteste lengdene på 3,2 meter gir MRE høyest kapasitet for de minste kvadratiske tverrsnittene på 180 mm x 180 mm og 270 mm x 270 mm. For de øvrige tverrsnittene med samme lengde gir MRT best kapasitet.

Når vi øker lengden til 6,4 meter ser vi at nesten alle de kvadratiske tverrsnittene får høyest kapasitet ved bruk av MRE. Øker vi lengden til 12,8 meter er MRE metoden som gir høyest kapasitet både for tverrsnittene med b/h-forhold 3/3 og 2/3. Tendensen vi ser er da at når kneklengden til en søyle øker er det mer lønnsomt å dimensjonere med MRE. Spørsmålet blir da hvor store dimensjoner og hvor lange lengder det er hensiktsmessig å produsere, transportere og montere.

Et trykkstag er i prinsippet en søyle, noe som gir oss samme situasjon for trykkstagene som for søylene. Når vi så på stagene da strekk var dimensjonerende ble derimot tendensen helt tydelig. For alle beregningene vi har gjort i denne oppgaven er MRE metoden som gir høyest kapasitet. Vi ser allikevel at differansen mellom MRE og MRT blir mindre når stagene blir lengere og tverrsnittene slankere. For oss ser det ut til at MRT kunne gitt den høyeste kapasiteten dersom vi hadde valgt et enda større tverrsnitt, med lengde over 12,8 meter.

For å ha et praktisk bevis for den empiriske studien ble det gjennomført en casestudie av *Treet* i Bergen. Vi brukte de samme formlene da vi beregnet kapasiteten til dimensjonene i hovedbæresystemet til *Treet*, som da vi dimensjonerte de tilfeldig valgte tverrsnittene. Tendensen vi så fra beregningene av tverrsnittene stemte godt overens med de kapasitetene vi fikk da vi beregnet *Treet*. Dette tolket vi dit hen at våre antagelser var riktige ved at det vil være en materialbesparelse ved bruk av MRE i forhold til MRT.

Vi brukte forskjellen i kapasitetene mellom metodene for å finne hvor stor materialbesparelsen kan være ved bruk av MRE i forhold til MRT. Også her stemte resultatene på våre tilfeldig valgte tverrsnitt godt overens med resultatene av *Treet*.

Sammenlikningen viser at dersom en velger riktig branndimensjoneringsmetode for de ulike komponentene vil det være mulig å redusere det totale materialforbruket med rundt 29 kubikkmeter. Materialbesparelsen vil gi et positivt bidrag til økonomien i prosjektet og redusere miljøavtrykket med omtrent 17526 kilogram CO₂-ekvivalenter. Det finnes andre, mer effektive tiltak for å redusere klimagassutslippene enn valg av branndimensjoneringsmetode, men dette er allikevel et lite steg i riktig retning for at byggenæringen skal nå målene i Stortingsmelding 21 (6).

4.3 Refleksjon over metodevalg

Ved å utføre en empirisk studie vil de beregningsresultatene vi har fått, gi oss kapasiteter beregnet etter allerede kjente og godkjente metoder. Det vil si at resultatene ikke i seg selv bidrar til ny kunnskap. Det er det vi velger å bruke disse resultatene til som interessant for våre konklusjoner. Vi mener at vi har nok resultater til kunne å se en tydelig tendens, men

for å få et sikrere resultat burde det vært gjort beregninger av flere tverrsnitt. Her satte tiden en stopper for oss.

En casestudie skal kunne brukes som en sammenlikning for liknende prosjekter, og det kan derfor antas at våre resultater vil gjelde for liknende byggeprosjektet som *Treet*. Vi så de samme tendensene i casestudien som de vi så i empiristudien, noe vi mener er et bevis på at våre metoder har fungert slik vi ønsket det.

4.4 Konklusjon

Ved branndimensjonering av trekonstruksjoner er det i *NS-EN 1995-1-2* (4) beskrevet to forskjellige metoder som kan benyttes, metoden med redusert tverrsnitt (MRT) og metoden med reduserte egenskaper (MRE). Gjennom en sammenlikning av disse metodene har vi kommet frem til følgende konklusjon:

- Det er varierende hvilken av de to metodene som er mest materialbesparende
- En kombinasjon av de to metodene, på de ulike komponentene i hovedbæresystemet, vil gi den største materialbesparelsen
- Det er ikke gitt at den ene metoden gir større materialbesparelse enn den andre ved dimensjonering av et hovedbæresystem

De to metodene som er beskrevet i *NS-EN 1995-1-2* er likestilte. Det betyr at en står fritt til å velge hvilken metode en vil benytte ved branndimensjonering av trekonstruksjoner. Våre resultater viste en variasjon i hvilke metode som var å foretrekke for de ulike komponentene, det vil si hvilken metode som ga den største materialbesparelsen. Ved å bruke de to metodene sammen vil en i et byggeprosjekt få frem den største mulige materialbesparelsen.

4.5 Forslag til videre arbeid

I dag finnes det bare pre-aksepterte løsninger for bygninger i tre opp til fem etasjer. Vi ser at disse i fremtiden bør videreutvikles slik at vi får større muligheter til å bygge høyt med tre som konstruksjonsmaterialet. Vi anbefaler videre forskning på mer effektiv bygging av høyhus med tre som hovedmateriale i hovedbæresystemet. Etter vår oppfatning bør også et enklere system for EPD-er innføres slik at disse i større grad kan være et hjelpemiddel i planleggingen av miljøvennlige bygninger, ikke bare for profesjonelle aktører, men også for det private markedet.

Referanser

1. Trifkovic M. Forespørsel om figur. In: Hansen I, editor.: ARTEC AS; 2015.
2. Hermansen IJ. Forespørsel om figur. In: Hansen I, editor. 2015. p. 2.
3. Östman B. Forespørsel om figur. In: Hansen I, editor. 2015. p. 2.
4. Norge S. NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010

Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner

Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering. Standard Norge; 2004.

5. Eie J. Trekonstruksjoner : beregning og dimensjonering. 2. utg. ed. Bekkestua: NKI-forl.; 2010.
6. Miljøverndepartement DK. Meld. St. 21 Melding til Stortinget Norsk klimapolitikk: Regjering.no; 2012 [cited 2015 14.01.2015]. Available from: <https://www.regjeringen.no/nb/dokumenter/meld-st-21-2011-2012/id679374/?docId=STM201120120021000DDDEPIS&q=&navchap=1&ch=7>.
7. boligbyggerlag B. Treet: Bergens boligbyggerlag; 2014 [05.02.15]. Available from: <http://treetsameie.no/>.
8. Norge S. NS-EN 1995-1-1:2004+A1:2008+NA:2010

Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner

Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger Standard Norge; 2004.

9. Lov om planlegging og byggesaksbehandling (plan- og bygningsloven), (2008).
10. Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift), (2010).
11. Gunnarsjaa A. Norges arkitekturhistorie. Oslo: Abstrakt; 2006.
12. Jan Weckendorf IS, editor MULTI-FUNCTIONAL INTERFACE CONCEPT FOR HIGHRISE HYBRID BUILDING SYSTEMS WITH STRUCTURAL TIMBER World Conference on Timber Engineering WTCE; 2012 16. - 19. juli; Auckland2012.
13. Rune B Abrahamsen KAM, editor STRUCTURAL DESIGN AND ASSEMBLY OF "TREET" - A 14-STORY TIMBER RESIDENTIAL BUILDING IN NORWAY World Conference on Timber Engineering WCTE; 2014 10. - 14. august 2014; Quebec. Quebec: WCTE; 2014.
14. Michael Carter NL, Erik Oliver, Molly Post. Promoting the Design of Buildings that Are Fire Safe and Sustainable, A Review for Fire Protection Association Australia WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE: WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE; 2011.
15. Östman B, Trätek, Nordic W. Brandsäkra trähus : nordisk kunskapsöversikt och vägledning. Version 2. ed. Stockholm: Trätek; 2002.
16. limträ S. Brann i limträ 2015 [cited 2015 23.02.15]. Available from: <http://www.svensktlimtra.se/no/limHTML/1U151.html>.
17. Limträ S. MRE og MRT [cited 2015 06.01.15]. Available from: <http://www.svensktlimtra.se/no/limHTML/2U1541.html>.
18. forskningsinstitut SPSt, Trätek SP. Fire safety in timber buildings : technical guideline for Europe. Stockholm: SP Technical Research Institute of Sweden SP Trätek; 2010.
19. byggkvalitet Df. Veiledning om tekniske krav til byggverk. DiBK; 2010.
20. MOELVEN. Moelvens historie MOELVEN: MOELVEN; 2011 [cited 2015 14.05.2015]. Available from: <http://www.moelven.com/no/Om-Moelven/Dette-er-Moelven/Moelvens-historie/>.



21. Kansli ST. Strandparken Sundbyberg 2012 [10.02.15]. Available from: http://www.trabyggnadskansliet.se/english/inspiration_1/multi-storey-buildings/strandparken-sundbyberg.
22. binderholz. 8 storey wooden building, Bad Aibling, Germany [10.02.15]. Available from: <http://www.binderholz.com/en/construction-solutions/residential-buildings/8-storey-wooden-building-bad-aibling-germany/>.
23. living F. Explore the worlds tallest timber apartments [10.02.15]. Available from: <http://www.forteliving.com.au/community.html>.
24. Byggforsk S. Miljødeklarasjoner av byggematerialer, EPD (Environmental Product Declaration): SINTEF Byggforsk; [cited 2015 09.04.2015]. Available from: <https://www.sintef.no/projectweb/miljodeklarasjoner/>.
25. epd-Norge. Environmental Product Declaration Limtrebjelke. 2014 28.08.2014. Report No.: NEPD00263N Standard Limtrebjelke Sørlaminering AS.
26. epd-Norge. Environmental Product Declaration Welded plated beams HSQ, ISQ and HSK AK Mekaniske AS. 2014 13.01.2014. Report No.: 00234E.
27. epd-Norge. Environmental Product Declaration I, H, U, L, T and wide flats hot-rolled sections AK Mekaniske AS. 2014 13.01.2014. Report No.: 00235E.
28. epd-Norge. Environmental Product Declaration Fabrikk Betong B30 M60. 2012 03.10.2012. Report No.: NEPD158NBetongUniconBergen.
29. epd-Norge. Environmental Product Declaration Hulldekkeelement Spenncom. 2009 2009. Report No.: NEPD nr: 14 NO.
30. byggkvalitet Df. Veiledning om tekniske krav til byggverk. DiBK; 2010.
31. MOLEVEN. Karakteristiske fasthetsverdier for Limtre og Smalt Limtre. MOELVEN; 2014.



Vedlegg

Vedlegg A: Bjelkeberegninger

Vedlegg B: Søyleberegninger

Vedlegg C: Stagberegninger

Vedlegg D: Beregninger av *Treet*

Vedlegg E: Tillatelse til å gjengi figurer fra Standard Norge, SP Hållbar samhällsbyggnad og

ARTEC AS

Vedlegg F: Fastheter Limtre og Smalt Limtre mars 2014

Sammendrag resultater- Bjelke
Skjærkapasitet (kN)

b/h=3/3	VRd	MRT: VRd,fi	MRE: VRd,fi,m	Spart areal i % med MRE:
180x180	36,81	9,45	9,89	5,50
225x225	57,52	28,28	28,83	4,30
270x270	82,83	55,81	56,45	3,50
315x315	112,74	92,04	92,77	3,00
360x360	147,26	136,96	137,79	2,60
405x405	186,37	190,57	191,50	2,30
450x450	230,09	252,88	253,90	2,00
540x540	331,33	403,57	404,79	1,70
585x585	388,85	491,96	493,28	1,50
Snitt=				<u>2,93</u>

b/h=2/3	VRd	MRT: VRd,fi	MRE: VRd,fi,m	Spart areal i % med MRE:
100x180	20,45	2,58	2,34	-5,30
150x225	38,35	14,60	14,50	-1,20
200x315	71,58	48,84	48,59	-1,60
250x405	115,04	102,40	101,99	-1,60
300x450	153,39	153,06	152,80	-0,80
350x540	214,75	240,43	240,01	-0,90
400x630	286,33	347,12	346,55	-0,90
450x675	345,13	436,42	435,99	-0,60
500x765	434,61	576,92	576,34	-0,60
550x855	534,31	736,74	736,01	-0,60
Snitt=				<u>-1,41</u>

Momentkapasitet (kN/m)

b/h=3/3	MRd	MRT: MRd,fi	MRE: MRd,fi,m	Spart areal i % med MRE:
180x180	19,52	1,11	1,57	8,20
225x225	38,13	7,08	8,41	10,60
270x270	64,88	21,05	23,58	11,50
315x315	101,46	46,01	50,09	11,70
360x360	149,44	84,94	90,89	11,70
405x405	210,28	140,69	148,85	11,50
450x450	285,43	216,11	226,78	11,20
540x540	484,31	436,98	453,64	10,60
585x585	610,85	587,89	608,01	10,30
Snitt=				<u>10,81</u>

b/h=2/3	MRd	MRT: MRd,fi	MRE: MRd,fi,m	Spart areal i % med MRE:
100x180	10,85	0,30	0,37	4,10
150x225	25,42	3,66	4,23	9,10
200x315	64,42	24,42	26,23	10,80
250x405	129,80	75,60	79,28	10,90
300x450	190,29	130,80	136,47	11,00
350x540	313,91	260,33	268,98	10,50
400x630	480,83	453,37	465,57	10,00
450x675	616,70	618,08	633,64	9,80
500x765	869,18	942,64	962,80	9,40
550x855	1181,09	1361,88	1387,19	8,90
Snitt=				<u>9,45</u>



Vedlegg A

Beregninger

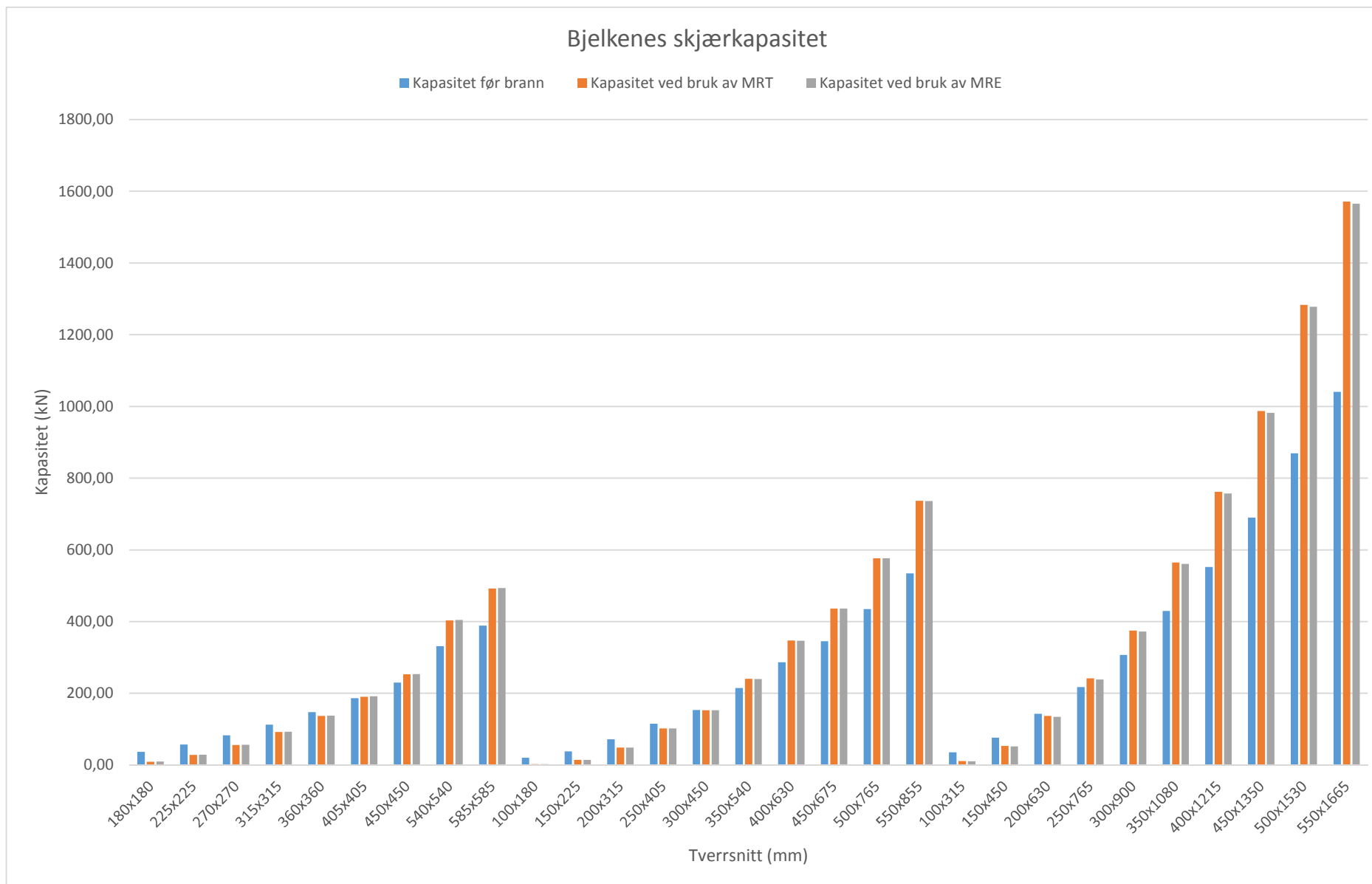
Samlede resultater av bjelkeberegninger

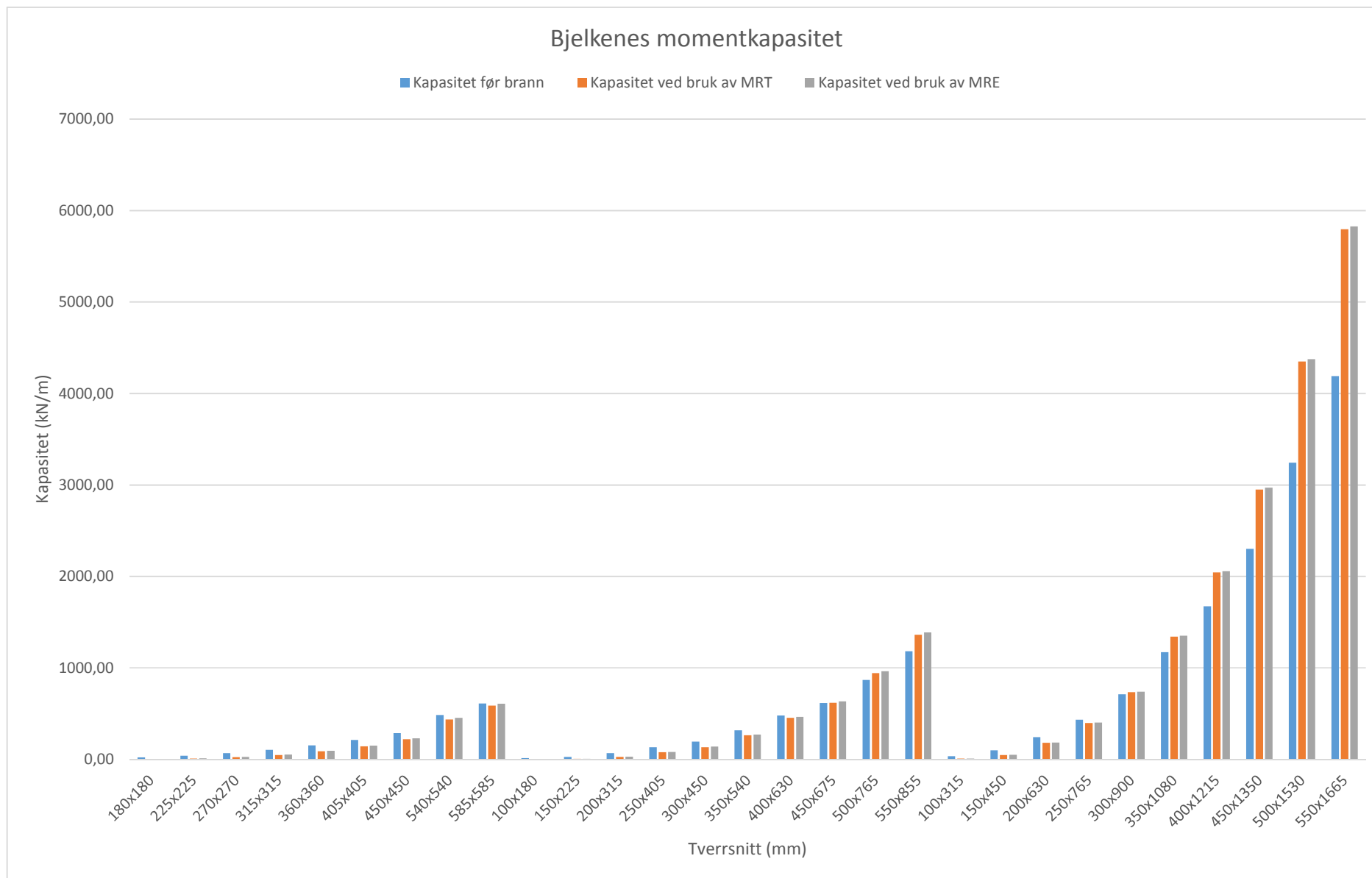
b/h=1/3

100x315	35,79	11,27	10,16	-14,10
150x450	76,70	53,24	51,69	-9,20
200x630	143,17	136,74	134,46	-7,20
250x765	217,30	241,50	238,78	-5,70
300x900	306,78	375,24	372,08	-4,70
350x1080	429,50	565,00	561,11	-4,10
400x1215	552,21	761,53	757,20	-3,60
450x1350	690,26	987,04	982,27	-3,10
500x1530	869,22	1283,06	1277,56	-2,90
550x1665	1040,50	1571,36	1565,42	-2,60
Snitt=				<u>-5,72</u>

b/h=1/3

100x315	32,21	5,63	5,49	4,10
150x450	95,14	45,50	46,17	5,30
200x630	240,42	178,60	180,64	6,10
250x765	434,59	394,59	398,89	6,70
300x900	710,18	733,52	740,74	6,80
350x1080	1171,54	1341,39	1351,99	6,30
400x1215	1674,71	2043,41	2058,26	6,20
450x1350	2301,61	2949,88	2969,59	6,00
500x1530	3243,91	4350,23	4375,21	5,70
550x1665	4190,20	5795,92	5827,02	5,50
Snitt=				<u>5,87</u>





Samlede resultater av søyleberegningene

Trykkapasitet (kN)

b/h=3/3, L=3,2m	NRd	MRT:	MRE:	Spert areal i %
		NRd,fi	NRd,fi,comp	med MRE:
180x180	395,61	6,86	10,09	0,82
225x225	691,73	89,87	108,21	2,65
270x270	1034,34	389,04	427,45	3,71
315x315	1433,53	965,49	969,63	0,29
360x360	1892,59	1635,76	1591,34	-2,35
405x405	2412,70	2373,00	2301,90	-2,95
450x450	2994,36	3210,41	3119,92	-3,02
540x540	4343,25	5220,96	5097,78	-2,84
585x585	5110,70	6399,13	6260,67	-2,71
Snitt=				-0,71

b/h=2/3, L=3,2m	NRd	MRT:	MRE:	Spert areal i %
		NRd,fi	NRd,fi,comp	med MRE:
100x180	219,78	1,87	1,53	-0,16
150x225	461,15	46,38	51,43	1,09
200x315	910,17	512,30	494,16	-1,99
250x405	1489,32	1275,05	1204,16	-4,76
300x450	1996,24	1943,14	1855,66	-4,38
350x540	2815,07	3110,36	2993,81	-4,14
400x630	3771,59	4533,83	4389,83	-3,82
450x675	4554,62	5719,01	5560,44	-3,48
500x765	5752,81	7597,51	7412,08	-3,22
550x855	7089,17	9736,63	9524,51	-2,99
Snitt=				-2,79



b/h=1/3, L=3,2m	NRd	MRT:	MRE:	Spert areal i %
		NRd,fi	NRd,fi,comp	med MRE:
100x315	455,09	118,22	80,71	-8,24
150x450	998,12	675,88	591,41	-8,46
200x630	1885,79	1786,05	1650,26	-7,20
250x765	2876,40	3180,35	3006,31	-6,05
300x900	4074,36	4966,19	4753,97	-5,21
350x1080	5721,83	7509,73	7247,48	-4,58
400x1215	7369,25	10144,53	9844,15	-4,08
450x1350	9224,16	13171,31	12832,79	-3,67
500x1530	11632,43	17152,02	16763,51	-3,34
550x1665	13936,97	21028,21	20601,56	-3,06
Snitt=				-5,39

b/h=3/3, L=6,4m	NRd	MRT:	MRE:	Spert areal i %
		NRd,fi	NRd,fi,comp	med MRE:
180x180	130,53	1,74	2,56	0,64
225x225	310,15	23,16	28,17	1,61
270x270	615,13	105,37	119,69	2,33
315x315	1053,37	309,20	338,92	2,82
360x360	1582,45	708,58	758,28	3,14
405x405	2155,51	1371,87	1437,26	3,03
450x450	2766,92	2313,68	2367,75	1,95
540x540	4137,36	4639,79	4593,58	-1,12
585x585	4906,28	5896,52	5811,89	-1,72
Snitt=				1,41



b/h=2/3, L=6,4m	NRd	MRT:	MRE:	Spert areal i %
		NRd,fi	NRd,fi,comp	med MRE:
100x180	72,52	0,47	0,39	-0,12
150x225	206,77	11,95	13,39	0,69
200x315	668,80	164,07	172,72	1,29
250x405	1330,56	737,12	751,86	1,11
300x450	1844,61	1400,39	1408,29	0,43
350x540	2681,62	2764,13	2697,70	-2,48
400x630	3640,70	4262,06	4144,88	-3,22
450x675	4414,60	5442,14	5306,34	-3,08
500x765	5607,78	7329,96	7161,38	-3,01
550x855	6936,61	9464,25	9266,08	-2,86
Snitt=				-1,12

b/h=1/3, L=6,4m	NRd	MRT:	MRE:	Spert areal i %
		NRd,fi	NRd,fi,comp	med MRE:
100x315	334,40	37,86	28,21	-2,89
150x450	922,31	487,09	448,83	-4,15
200x630	1820,35	1678,99	1558,17	-6,64
250x765	2803,89	3068,36	2904,63	-5,84
300x900	3992,48	4839,76	4636,18	-5,10
350x1080	5630,14	7367,07	7112,36	-4,52
400x1215	7266,12	9981,07	9687,93	-4,03
450x1350	9109,24	12986,13	12654,68	-3,64
500x1530	11505,61	16944,96	16563,31	-3,32
550x1665	13797,83	20798,17	20378,34	-3,04
Snitt=				-4,32

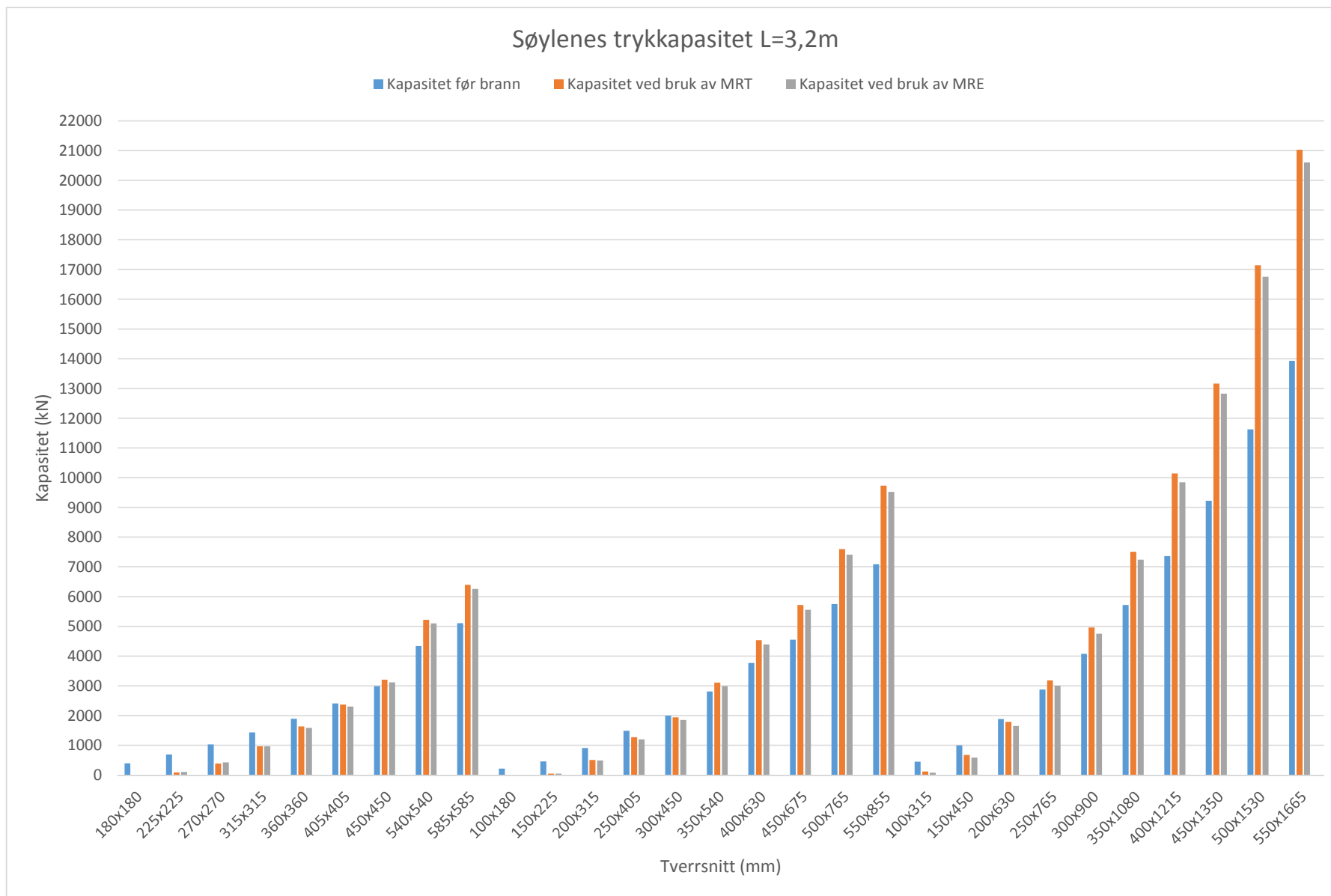


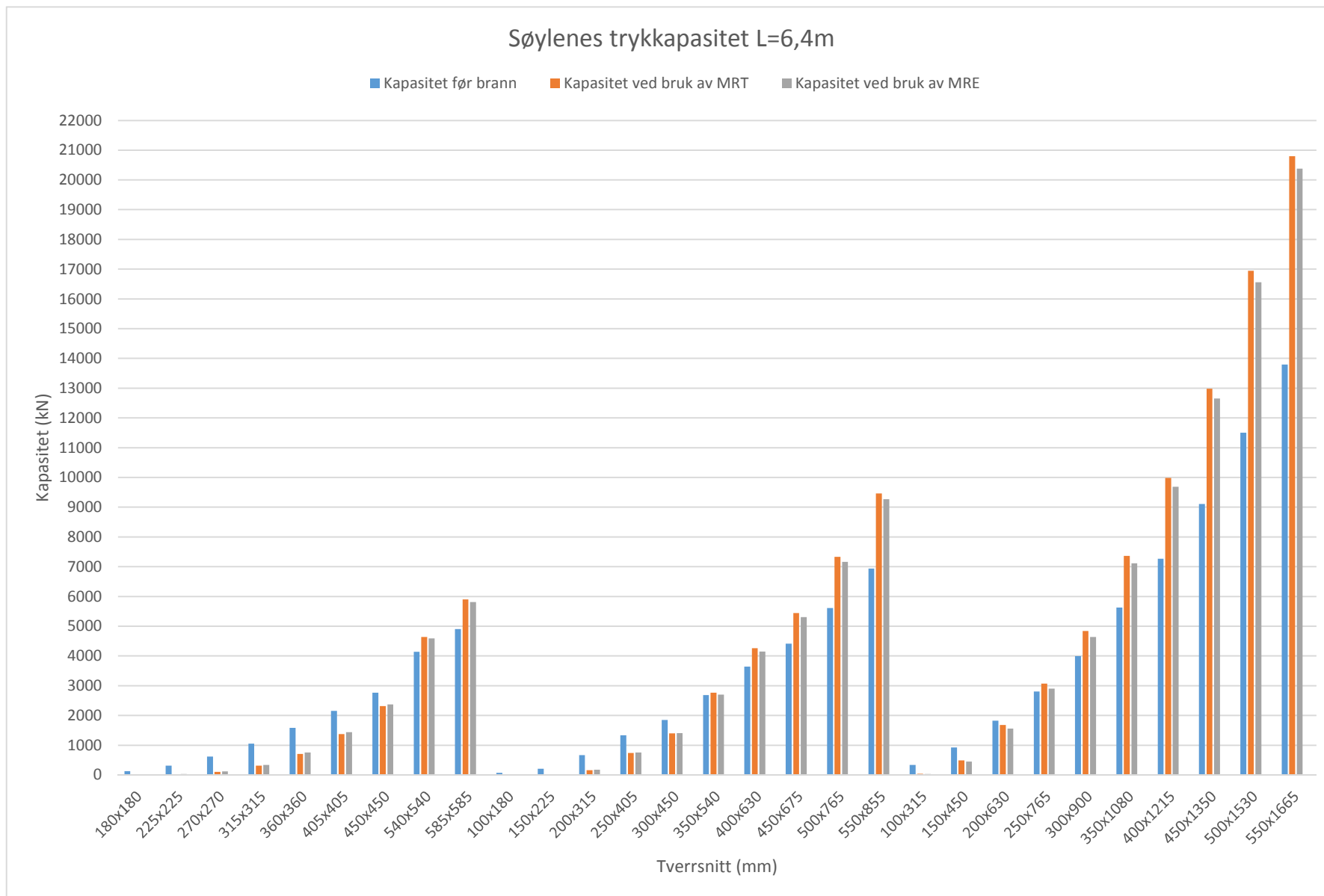
b/h=3/3, L=12,8m	NRd	MRT:	MRE:	Spert areal i %
		NRd,fi	NRd,fi,comp	med MRE:
180x180	33,7492662	0,43636835	0,64613043	0,621530806
225x225	81,8142716	5,86237623	7,14572233	1,56860909
270x270	168,342768	26,8871103	30,6334846	2,225444166
315x315	309,171962	79,8143857	87,9071538	2,617562069
360x360	522,128119	186,387274	201,153275	2,828041762
405x405	826,270322	373,431314	397,560032	2,920196569
450x450	1240,59	672,311422	708,71861	2,934667214
540x540	2460,53903	1747,89913	1817,14243	2,81415173
585x585	3276,46704	2598,75772	2686,93842	2,69133488
Snitt=				2,122153829

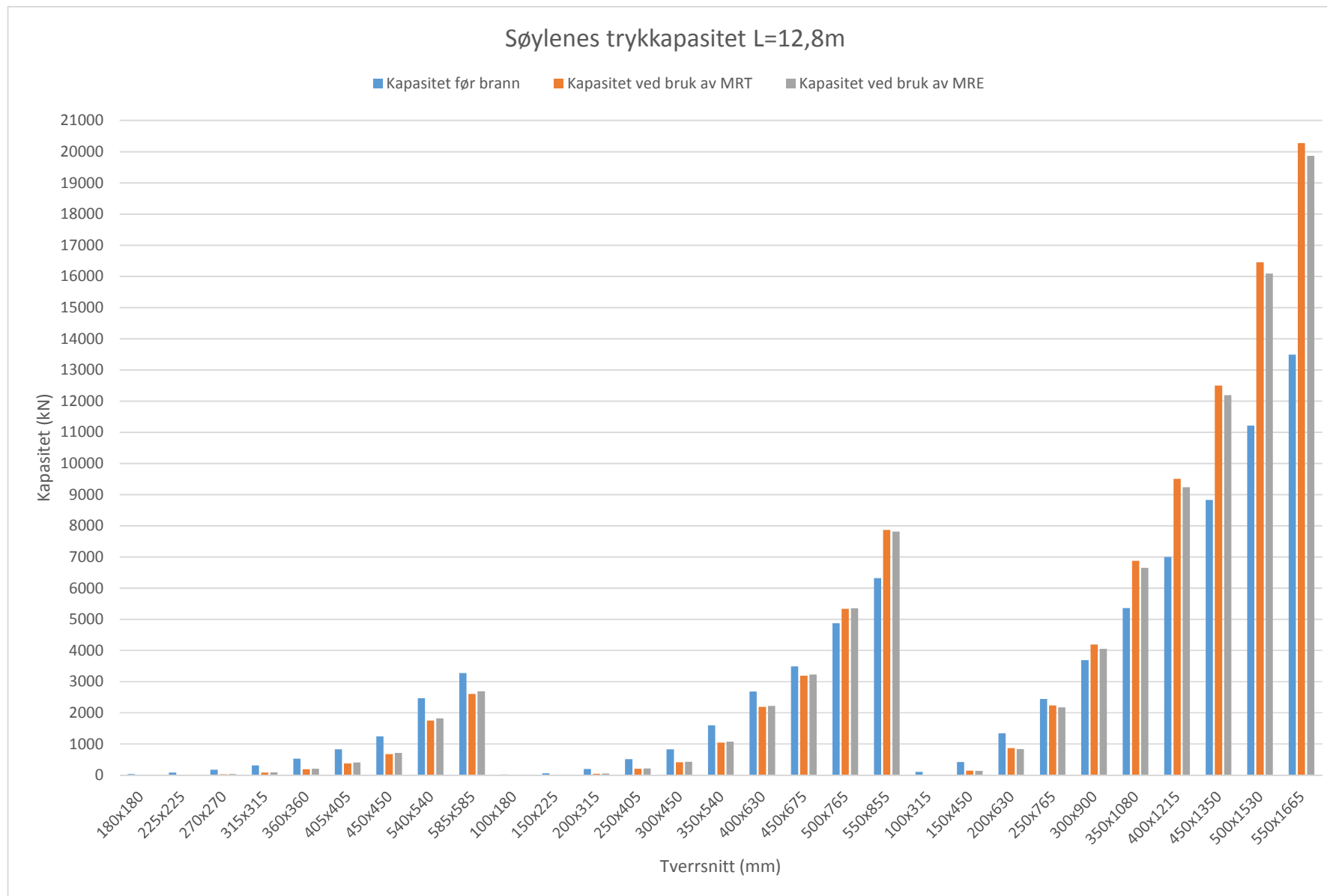
b/h=2/3, L=12,8m	NRd	MRT:	MRE:	Spert areal i %
		NRd,fi	NRd,fi,comp	med MRE:
100x180	18,7495923	0,11900955	0,09776736	-0,113294122
150x225	54,5428477	3,02574257	3,39575424	0,678387147
200x315	196,299659	42,3504904	44,8007547	1,248226456
250x405	510,043409	200,649661	207,970005	1,43523928
300x450	827,06	406,925334	421,531298	1,766010196
350x540	1594,79382	1041,30161	1067,16529	1,621757422
400x630	2675,21679	2182,08614	2217,4356	1,321368028
450x675	3494,46066	3191,38085	3234,70583	1,239818778
500x765	4874,73276	5334,79781	5350,15041	0,314942352
550x855	6319,20817	7872,12384	7816,92929	-0,873441017
Snitt=				0,863901452



b/h=1/3, L=12,8m	NRd	MRT:	MRE:	Spert areal i %
		NRd,fi	NRd,fi,comp	med MRE:
100x315	98,1498294	9,77319009	7,31692937	-2,5025624
150x450	413,53	141,539247	134,343987	-1,739960858
200x630	1337,60839	859,609693	833,594263	-1,94492126
250x765	2437,36638	2233,17118	2169,9975	-2,591882653
300x900	3689,22357	4191,67433	4055,46447	-3,692100984
350x1080	5363,23894	6873,17586	6654,48409	-4,077606453
400x1215	6996,21368	9502,94424	9237,09455	-3,799908196
450x1350	8829,20471	12499,9179	12191,1688	-3,496907769
500x1530	11215,5535	16448,7279	16086,1057	-3,233208265
550x1665	13489,8092	20271,2725	19869,0536	-2,981650539
Snitt=				-3,006070938







Samlede resultater av stagberegningene

Trykkapasitet (kN)					Strekkapasitet (kN)			
b/h=3/3, L=3,2m	N _{c,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i %	N _{t,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i
		N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:		N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:
180x180	395,61	6,86	10,09	0,82	423,03	108,54	130,28	5,14
225x225	691,73	89,87	108,21	2,65	660,99	324,99	356,60	4,78
270x270	1034,34	389,04	427,45	3,71	937,22	631,52	672,34	4,36
315x315	1433,53	965,49	969,63	0,29	1256,15	1025,46	1075,22	3,96
360x360	1892,59	1635,76	1591,34	-2,35	1618,92	1505,70	1564,22	3,62
405x405	2412,70	2373,00	2301,90	-2,95	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
450x450	2994,36	3210,41	3119,92	-3,02	2473,74	2718,76	2794,44	3,06
540x540	4343,25	5220,96	5097,78	-2,84	3497,83	4260,55	4352,97	2,64
585x585	5110,70	6399,13	6260,67	-2,71	4072,36	5152,28	5252,94	2,47
Snitt:				-0,71				3,71

b/h=2/3, L=3,2m								
b/h=2/3, L=3,2m	N _{c,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i %	N _{t,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i
		N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:		N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:
100x180	219,78	1,87	1,53	-0,16	235,02	29,60	35,68	2,59
150x225	461,15	46,38	51,43	1,09	440,66	167,74	184,65	3,84
200x315	910,17	512,30	494,16	-1,99	797,55	544,12	572,04	3,50
250x405	1489,32	1275,05	1204,16	-4,76	1249,97	1112,55	1151,01	3,08
300x450	1996,24	1943,14	1855,66	-4,38	1649,16	1645,57	1693,76	2,92
350x540	2815,07	3110,36	2993,81	-4,14	2267,11	2538,20	2596,43	2,57
400x630	3771,59	4533,83	4389,83	-3,82	2976,57	3608,47	3676,56	2,29
450x675	4554,62	5719,01	5560,44	-3,48	3563,16	4505,62	4582,97	2,17
500x765	5752,81	7597,51	7412,08	-3,22	4431,14	5882,07	5969,00	1,96
550x855	7089,17	9736,63	9524,51	-2,99	5387,44	7428,45	7524,84	1,79
Snitt=				-2,79				2,67



Samlede resultater av stagberegningene

b/h=1/3, L=3,2m	MRT:				MRE:				Spart areal i %				
	N _{c,Rd}	N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:	N _{t,Rd}	N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:	N _{c,Rd}	N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:	
100x315	455,09	118,22	80,71	-8,24	398,78	125,57	134,50	2,24	100x315	455,09	118,22	80,71	-8,24
150x450	998,12	675,88	591,41	-8,46	824,58	572,37	593,08	2,51	150x450	998,12	675,88	591,41	-8,46
200x630	1885,79	1786,05	1650,26	-7,20	1488,29	1421,52	1454,17	2,19	200x630	1885,79	1786,05	1650,26	-7,20
250x765	2876,40	3180,35	3006,31	-6,05	2215,57	2462,26	2505,75	1,96	250x765	2876,40	3180,35	3006,31	-6,05
300x900	4074,36	4966,19	4753,97	-5,21	3077,44	3764,13	3818,20	1,76	300x900	4074,36	4966,19	4753,97	-5,21
350x1080	5721,83	7509,73	7247,48	-4,58	4230,57	5565,33	5630,39	1,54	350x1080	5721,83	7509,73	7247,48	-4,58
400x1215	7369,25	10144,53	9844,15	-4,08	5375,62	7413,31	7488,56	1,40	400x1215	7369,25	10144,53	9844,15	-4,08
450x1350	9224,16	13171,31	12832,79	-3,67	6649,10	9507,87	9593,15	1,28	450x1350	9224,16	13171,31	12832,79	-3,67
500x1530	11632,43	17152,02	16763,51	-3,34	8268,80	12205,67	12301,46	1,16	500x1530	11632,43	17152,02	16763,51	-3,34
550x1665	13936,97	21028,21	20601,56	-3,06	9814,89	14822,36	14927,94	1,08	550x1665	13936,97	21028,21	20601,56	-3,06
Snitt=				-5,39				1,71	Snitt=				-5,39

b/h=3/3, L=6,4m	MRT:				MRE:				Spart areal i %				
	N _{c,Rd}	N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:	N _{t,Rd}	N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:	N _{c,Rd}	N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:	
180x180	130,53	1,74	2,56	0,64	423,03	108,54	130,28	5,14	180x180	130,53	1,74	2,56	0,64
225x225	310,15	23,16	28,17	1,61	660,99	324,99	356,60	4,78	225x225	310,15	23,16	28,17	1,61
270x270	615,13	105,37	119,69	2,33	937,22	631,52	672,34	4,36	270x270	615,13	105,37	119,69	2,33
315x315	1053,37	309,20	338,92	2,82	1256,15	1025,46	1075,22	3,96	315x315	1053,37	309,20	338,92	2,82
360x360	1582,45	708,58	758,28	3,14	1618,92	1505,70	1564,22	3,62	360x360	1582,45	708,58	758,28	3,14
405x405	2155,51	1371,87	1437,26	3,03	2024,95	2070,58	2137,74	3,32	405x405	2155,51	1371,87	1437,26	3,03
450x450	2766,92	2313,68	2367,75	1,95	2473,74	2718,76	2794,44	3,06	450x450	2766,92	2313,68	2367,75	1,95
540x540	4137,36	4639,79	4593,58	-1,12	3497,83	4260,55	4352,97	2,64	540x540	4137,36	4639,79	4593,58	-1,12
585x585	4906,28	5896,52	5811,89	-1,72	4072,36	5152,28	5252,94	2,47	585x585	4906,28	5896,52	5811,89	-1,72
				1,41				3,71					1,41



Samlede resultater av stagberegningene

b/h=2/3, L=6,4m	N _{c,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i %	N _{t,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i
		N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:		N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:
100x180	72,52	0,47	0,39	-0,12	235,02	29,60	35,68	2,59
150x225	206,77	11,95	13,39	0,69	440,66	167,74	184,65	3,84
200x315	668,80	164,07	172,72	1,29	797,55	544,12	572,04	3,50
250x405	1330,56	737,12	751,86	1,11	1249,97	1112,55	1151,01	3,08
300x450	1844,61	1400,39	1408,29	0,43	1649,16	1645,57	1693,76	2,92
350x540	2681,62	2764,13	2697,70	-2,48	2267,11	2538,20	2596,43	2,57
400x630	3640,70	4262,06	4144,88	-3,22	2976,57	3608,47	3676,56	2,29
450x675	4414,60	5442,14	5306,34	-3,08	3563,16	4505,62	4582,97	2,17
500x765	5607,78	7329,96	7161,38	-3,01	4431,14	5882,07	5969,00	1,96
550x855	6936,61	9464,25	9266,08	-2,86	5387,44	7428,45	7524,84	1,79
Snitt=				-1,12				2,67

b/h=1/3, L=6,4m	N _{c,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i %	N _{t,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i
		N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:		N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:
100x315	334,40	37,86	28,21	-2,89	398,78	125,57	134,50	2,24
150x450	922,31	487,09	448,83	-4,15	824,58	572,37	593,08	2,51
200x630	1820,35	1678,99	1558,17	-6,64	1488,29	1421,52	1454,17	2,19
250x765	2803,89	3068,36	2904,63	-5,84	2215,57	2462,26	2505,75	1,96
300x900	3992,48	4839,76	4636,18	-5,10	3077,44	3764,13	3818,20	1,76
350x1080	5630,14	7367,07	7112,36	-4,52	4230,57	5565,33	5630,39	1,54
400x1215	7266,12	9981,07	9687,93	-4,03	5375,62	7413,31	7488,56	1,40
450x1350	9109,24	12986,13	12654,68	-3,64	6649,10	9507,87	9593,15	1,28
500x1530	11632,43	17152,02	16763,51	-3,34	8268,80	12205,67	12301,46	1,16
550x1665	13797,83	20798,17	20378,34	-3,04	9814,89	14822,36	14927,94	1,08
Snitt=				-4,32				1,71



Samlede resultater av stagberegningene

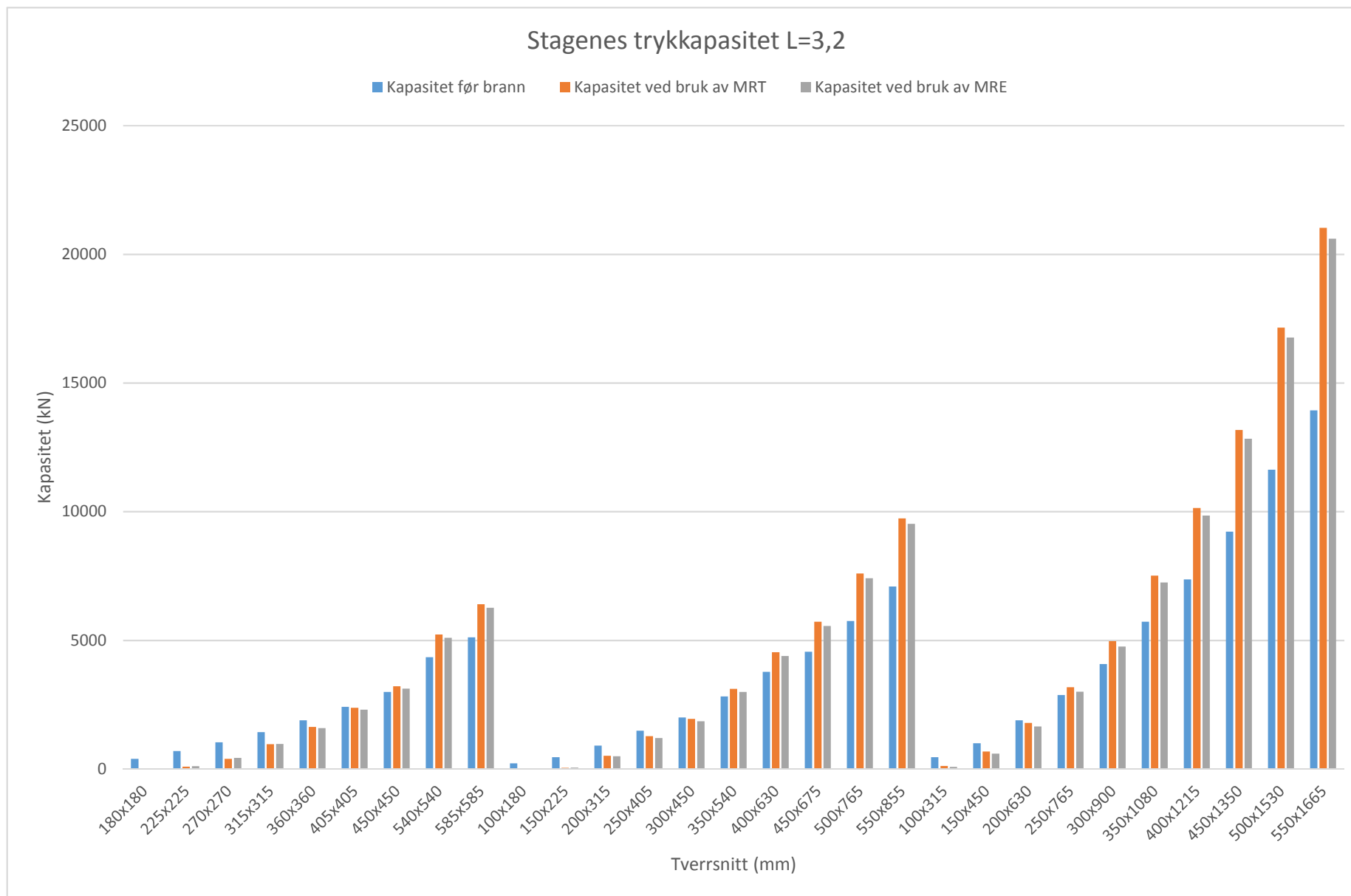
b/h=3/3, L=12,8m	N _{c,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i %	N _{t,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i
		N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:		N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:
180x180	33,75	0,44	0,65	0,62	423,03	108,54	130,28	5,14
225x225	81,81	5,86	7,15	1,57	660,99	324,99	356,60	4,78
270x270	168,34	26,89	30,63	2,23	937,22	631,52	672,34	4,36
315x315	309,17	79,81	87,91	2,62	1256,15	1025,46	1075,22	3,96
360x360	522,13	186,39	201,15	2,83	1618,92	1505,70	1564,22	3,62
405x405	826,27	373,43	397,56	2,92	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
450x450	1240,59	672,31	708,72	2,93	2473,74	2718,76	2794,44	3,06
540x540	2460,54	1747,90	1817,14	2,81	3497,83	4260,55	4352,97	2,64
585x585	3276,47	2598,76	2686,94	2,69	4072,36	5152,28	5252,94	2,47
Snitt=				2,36				3,71

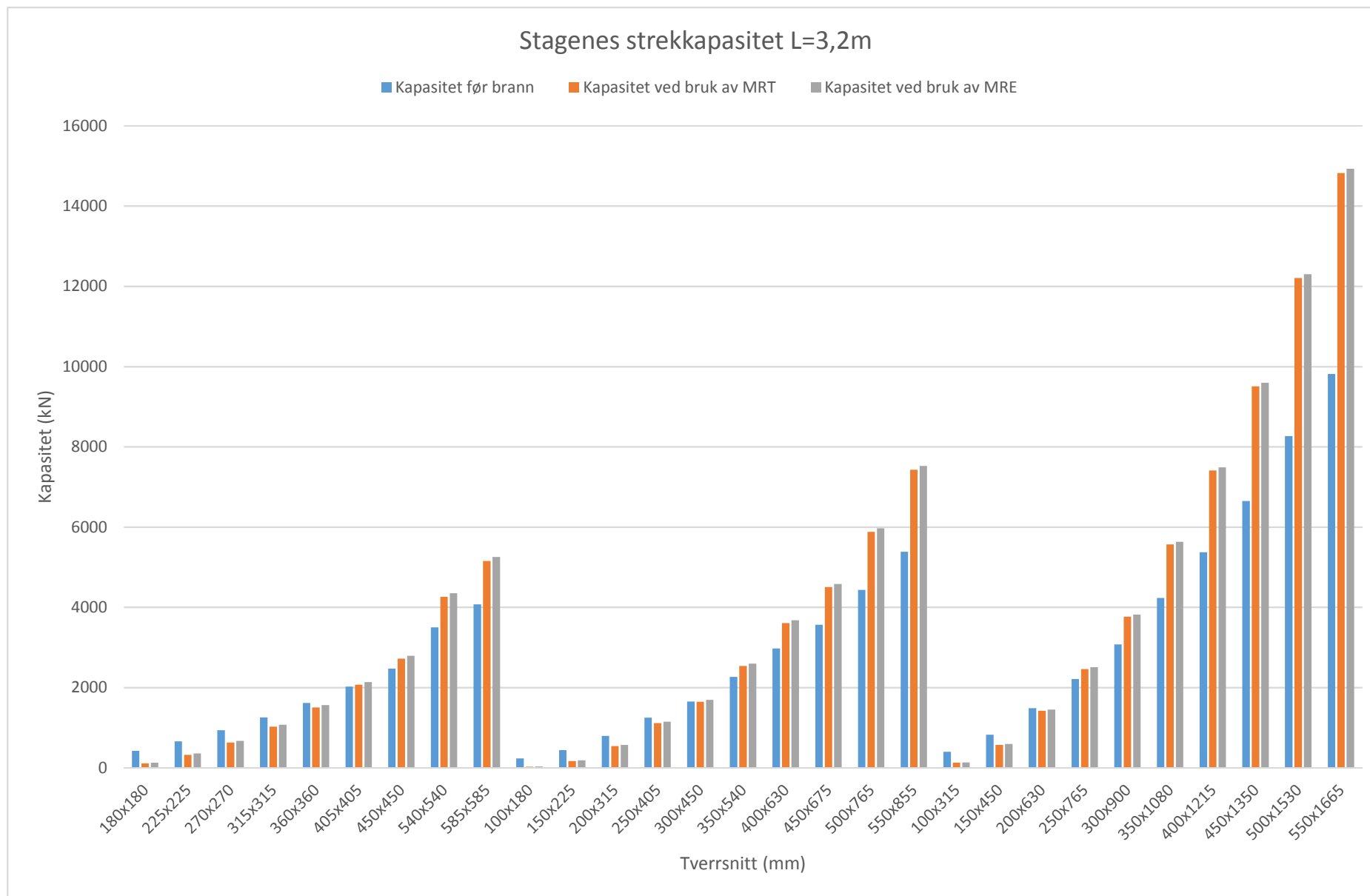
b/h=2/3, L=12,8m	N _{c,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i %	N _{t,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i
		N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:		N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:
100x180	18,75	0,12	0,10	-0,11	235,02	29,60	35,68	2,59
150x225	54,54	3,03	3,40	0,68	440,66	167,74	184,65	3,84
200x315	196,30	42,35	44,80	1,25	797,55	544,12	572,04	3,50
250x405	510,04	200,65	207,97	1,44	1249,97	1112,55	1151,01	3,08
300x450	827,06	406,93	421,53	1,77	1649,16	1645,57	1693,76	2,92
350x540	1594,79	1041,30	1067,17	1,62	2267,11	2538,20	2596,43	2,57
400x630	2675,22	2182,09	2217,44	1,32	2976,57	3608,47	3676,56	2,29
450x675	3191,38	3234,71	43,32	1,24	3563,16	4505,62	4582,97	2,17
500x765	4874,73	5334,80	5350,15	0,31	4431,14	5882,07	5969,00	1,96
550x855	6319,21	7872,12	7816,93	-0,87	5387,44	7428,45	7524,84	1,79
Snitt=				0,86				2,67

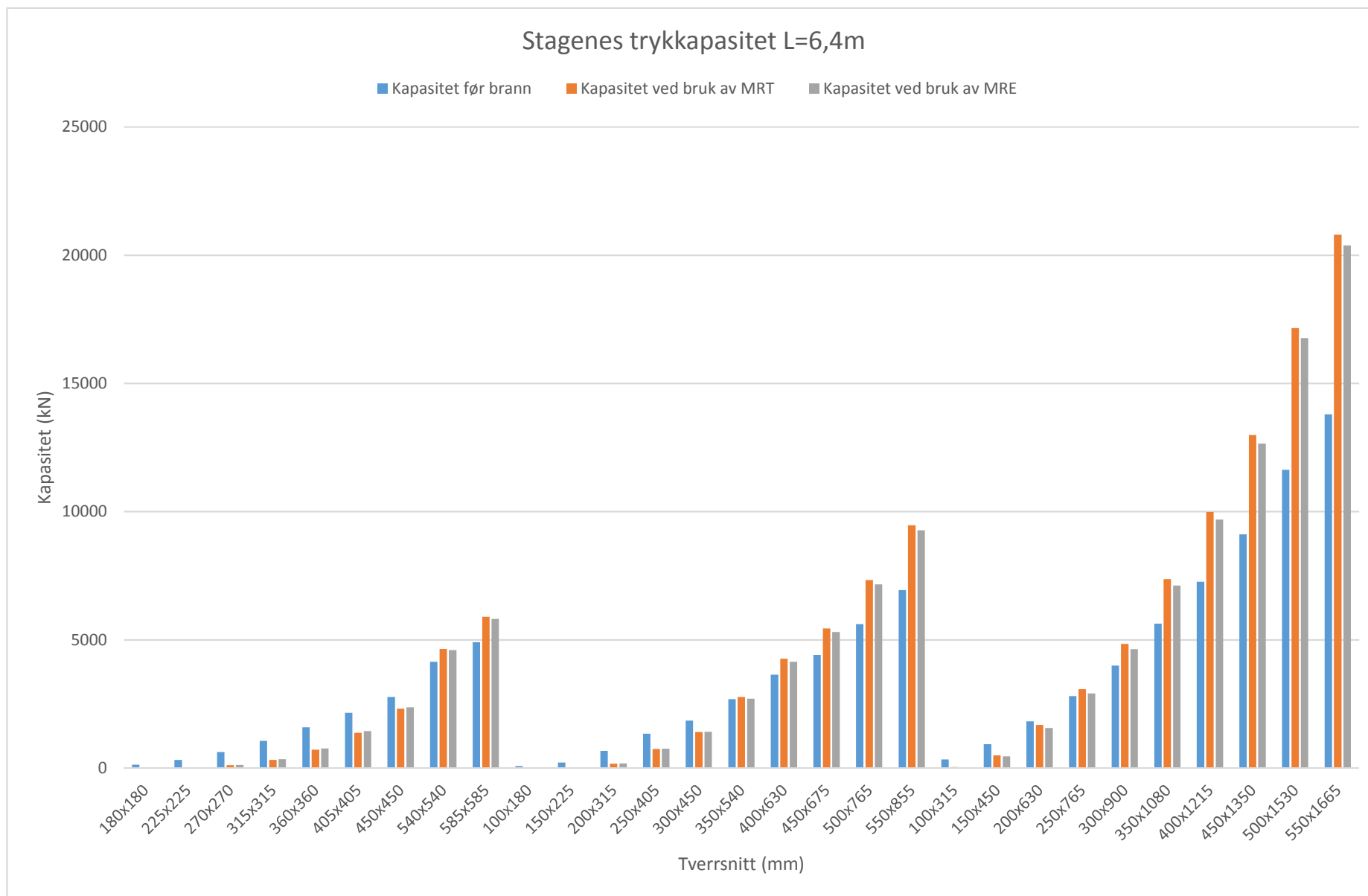


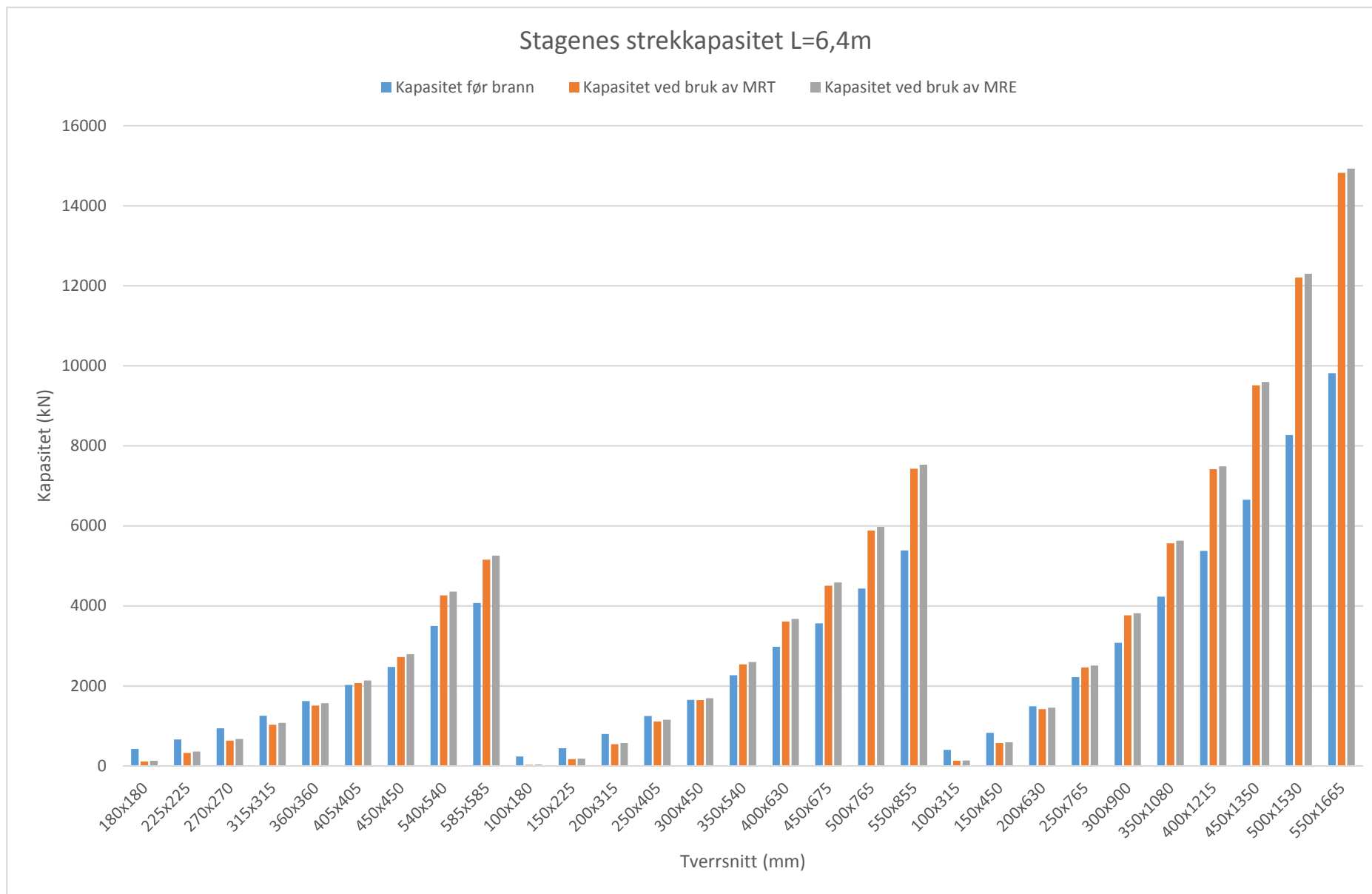
Samlede resultater av stagberegningene

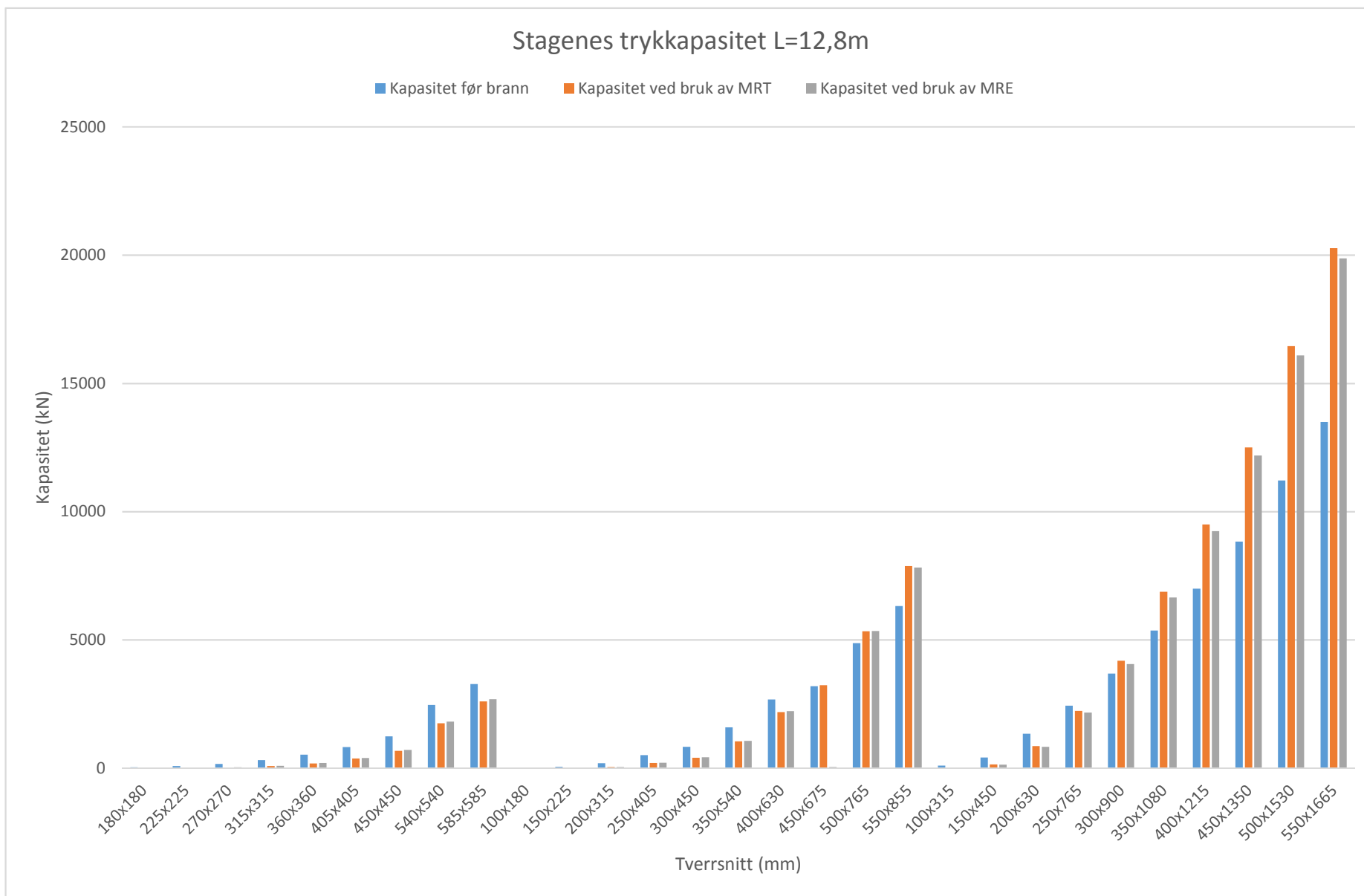
b/h=1/3, L=12,8m	MRT:				MRE:				Spart areal i %			
	N _{c,Rd}	N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:	N _{t,Rd}	N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:	N _{c,Rd}	N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	med MRE:
100x315	98,15	9,77	7,32	-2,50	398,78	125,57	134,50	2,24				
150x450	413,53	141,54	134,34	-1,74	824,58	572,37	593,08	2,51				
200x630	1337,61	859,61	833,59	-1,94	1488,29	1421,52	1454,17	2,19				
250x765	2437,37	2233,17	2170,00	-2,59	2215,57	2462,26	2505,75	1,96				
300x900	3689,22	4191,67	4055,46	-3,69	3077,44	3764,13	3818,20	1,76				
350x1080	5363,24	6873,18	6654,48	-4,08	4230,57	5565,33	5630,39	1,54				
400x1215	6996,21	9502,94	9237,09	-3,80	5375,62	7413,31	7488,56	1,40				
450x1350	8829,20	12499,92	12191,17	-3,50	6649,10	9507,87	9593,15	1,28				
500x1530	11215,55	16448,73	16086,11	-3,23	8268,80	12205,67	12301,46	1,16				
550x1665	13489,81	20271,27	19869,05	-2,98	9814,89	14822,36	14927,94	1,08				
Snitt=				-3,01				1,71				

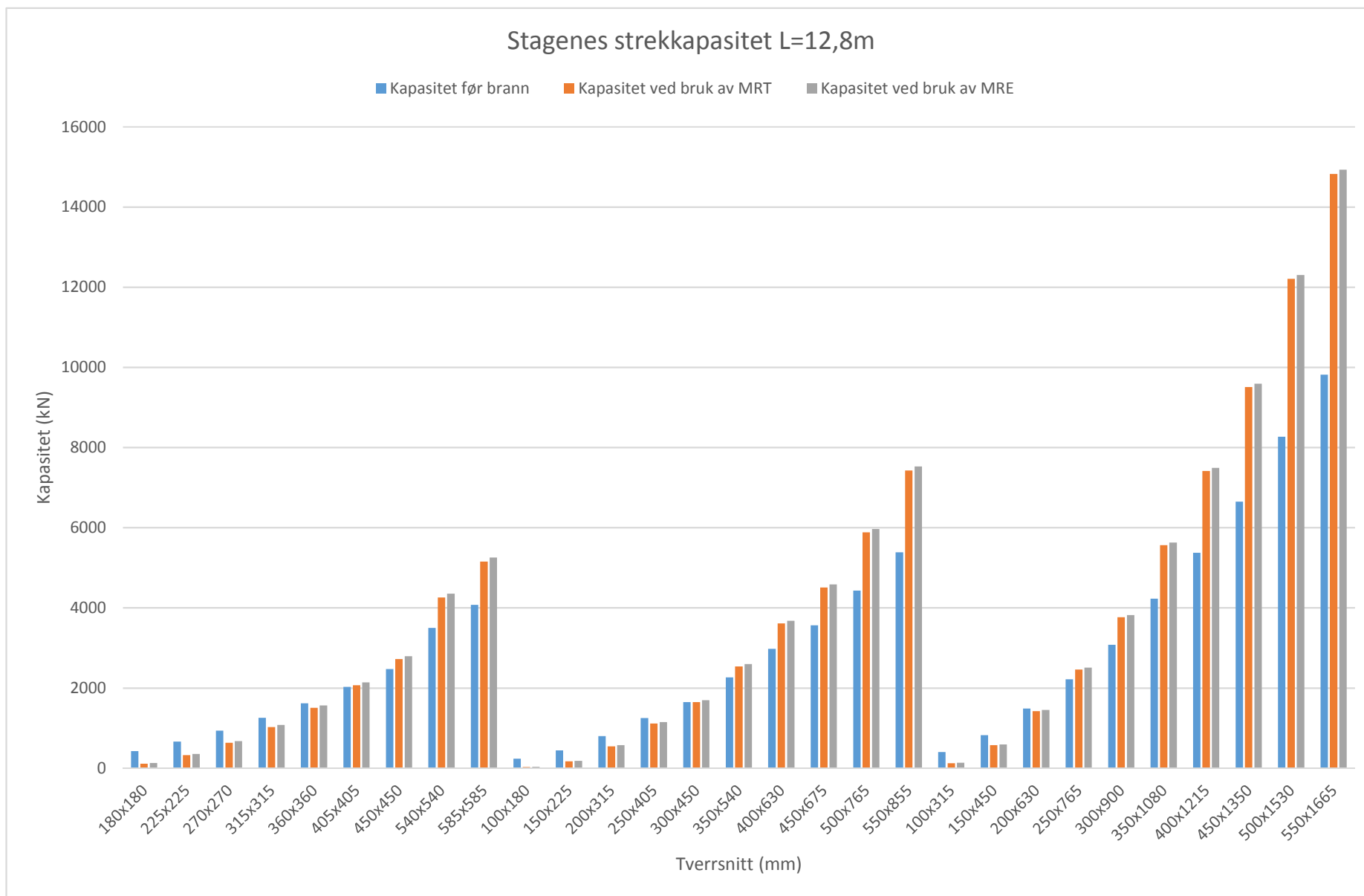












Samlede resultater av beregningene av "Treet" i Bergen

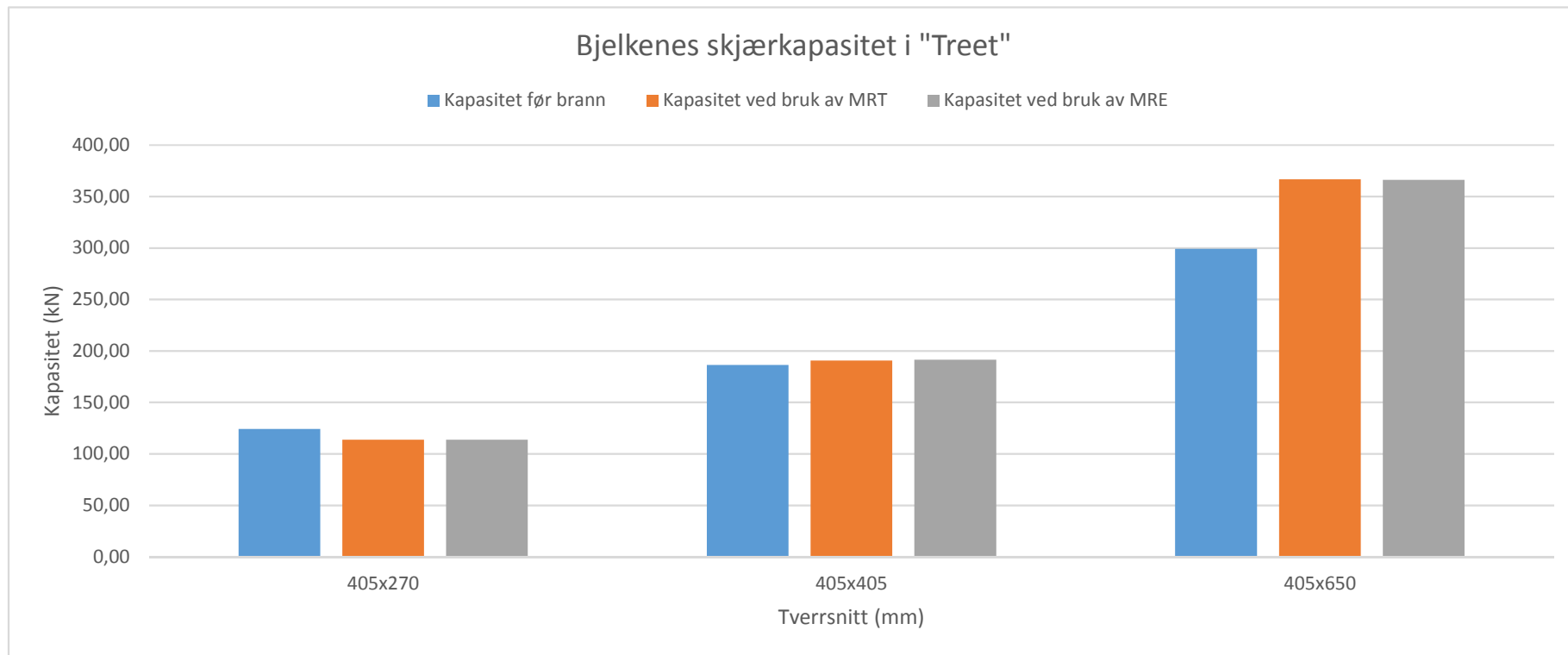
Bjelke

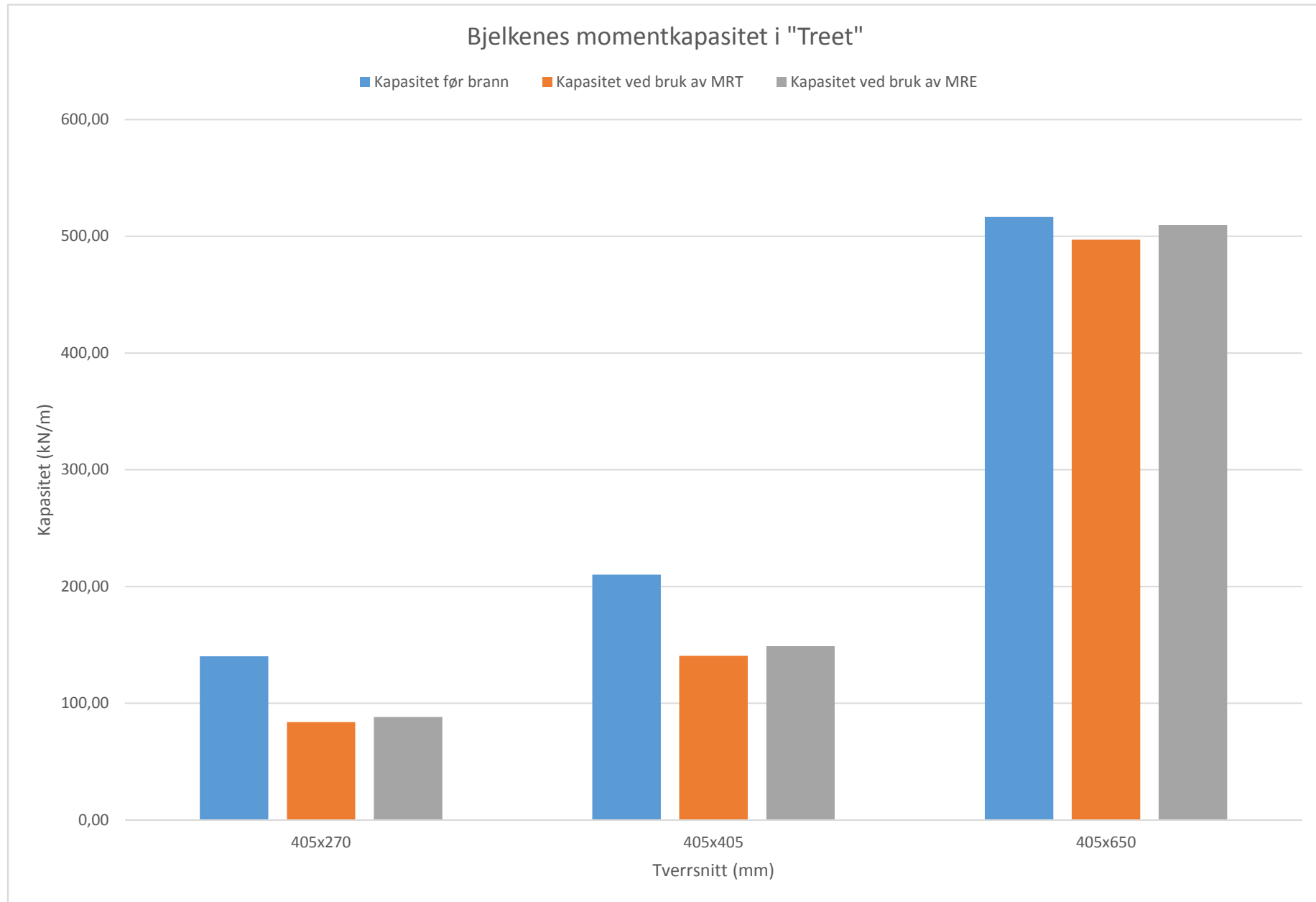
Skjærkapasitet (kN)

bxh	VRd	MRT:	MRE:	Spart areal i
		VRd,fi	VRd,fi,m	% med MRE:
405x270	124,25	113,77	113,54	-0,84
405x405	186,37	190,57	191,50	2,26
405x650	299,11	366,76	366,11	-0,98
Snitt=				<u>0,15</u>

Momentkapasitet (kN/m)

bxh,l	MRd	MRT:	MRE:	Spart areal i
		MRd,fi	MRd,fi,m	% med MRE:
405x270	140,19	84,00	88,26	11,15
405x405	210,28	140,69	148,85	11,46
405x650	516,63	497,02	509,76	9,92
Snitt=				<u>10,84</u>



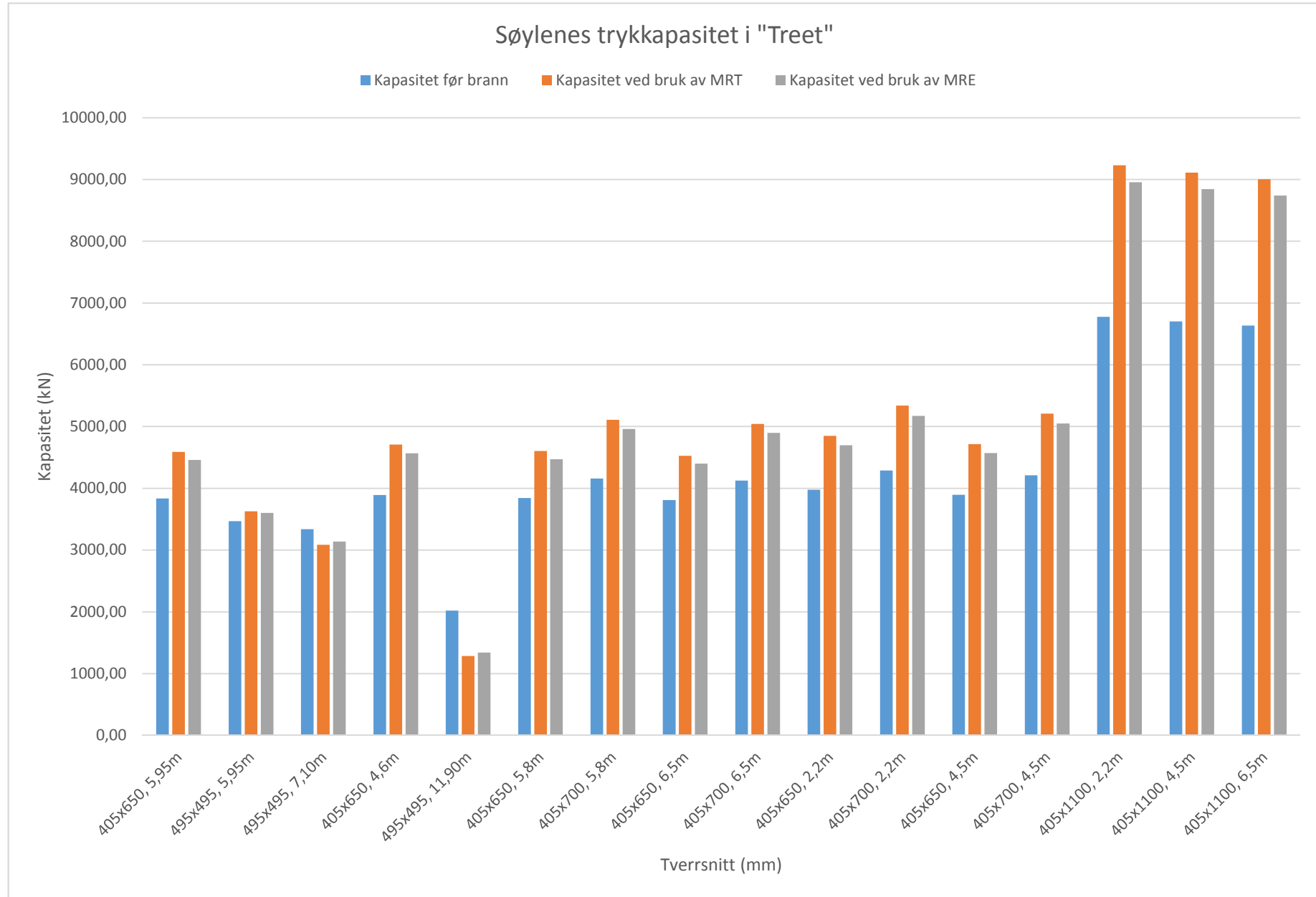




Søyle

Trykkapasitet (kN)

bxh,l	N _{c,Rd}	MRT: N _{c,Rd,fi}	MRE: N _{c,Rd,fi,comp}	Spart areal i % med MRE:
405x650, 5	3836,29	4590,12	4458,50	-3,42
495x495, 5	3469,19	3628,94	3603,71	-0,73
495x495, 7	3339,59	3086,56	3137,02	1,51
405x650, 4	3893,52	4708,90	4565,91	-3,67
495x495, 1	2019,64	1284,81	1343,12	2,89
405x650, 5	3843,30	4605,83	4472,56	-3,46
405x700, 5	4158,77	5110,99	4960,66	-3,61
405x650, 6	3808,76	4524,96	4400,63	-3,26
405x700, 6	4126,98	5043,69	4899,71	-3,48
405x650, 2	3976,07	4851,27	4698,07	-3,84
405x700, 2	4287,35	5337,88	5171,27	-3,89
405x650, 4	3897,33	4716,11	4572,51	-3,68
405x700, 4	4209,98	5208,54	5050,28	-3,75
405x1100, 1	6777,40	9229,36	8956,88	-4,02
405x1100, 1	6703,63	9113,31	8846,00	-3,99
405x1100, 1	6636,17	9003,83	8741,79	-3,95
Snitt=				<u>-2,77</u>





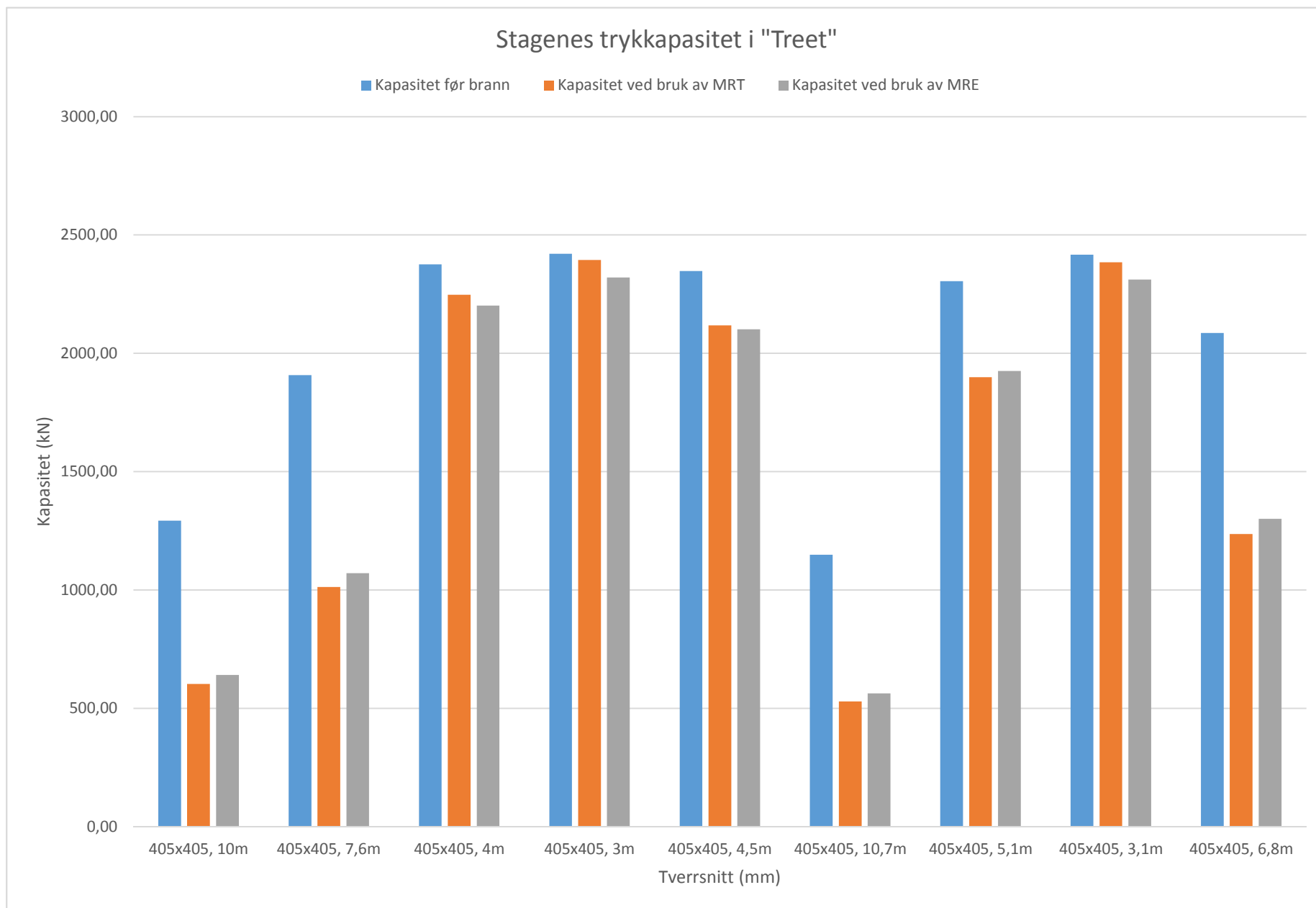
Stag

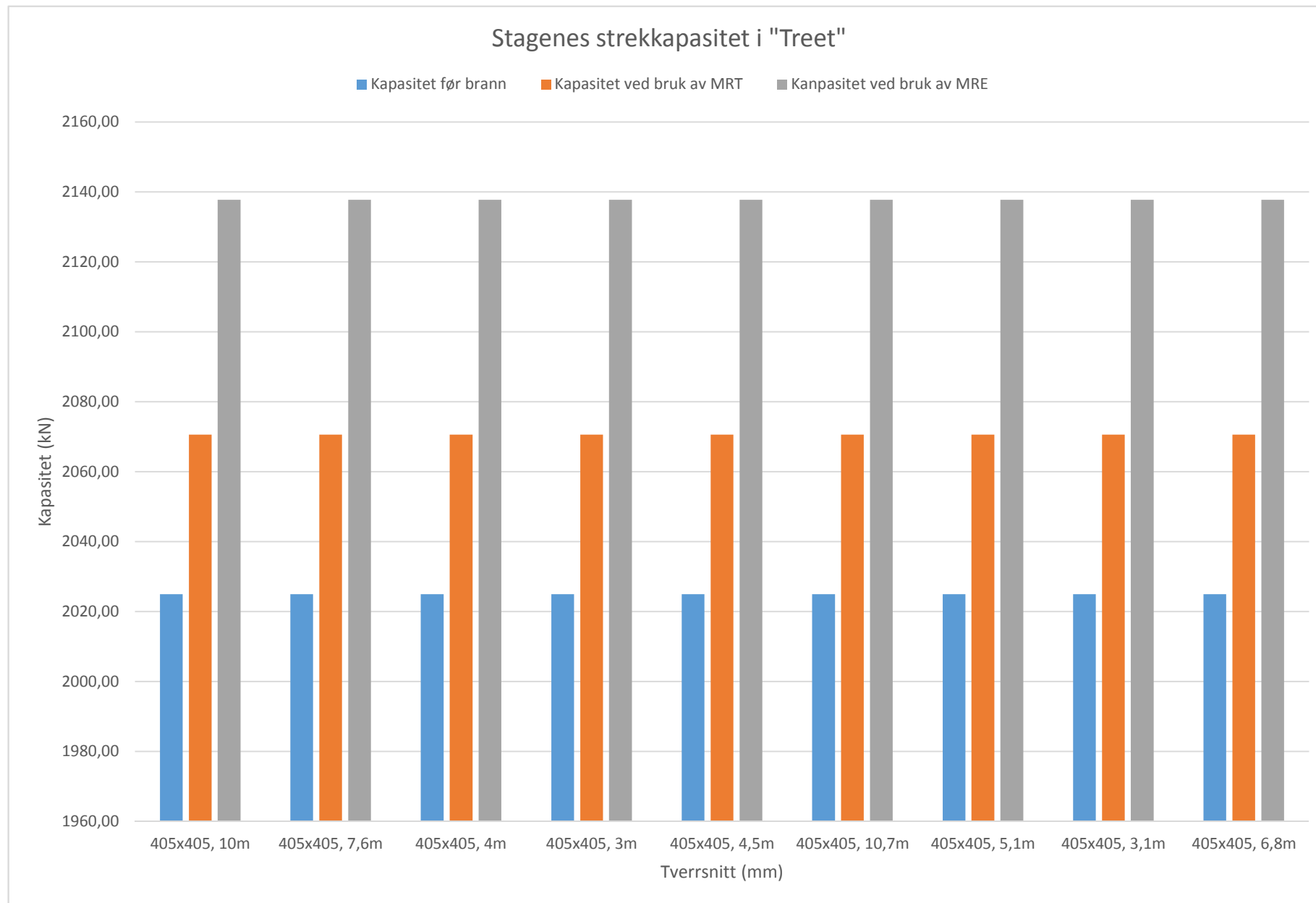
Trykkkapasitet (kN)

bxh,l	N _{c,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i
		N _{c,Rd,fi}	N _{c,Rd,fi,comp}	% med MRE:
405x405, 1	1292,27	602,82	640,72	2,93
405x405, 7	1907,31	1012,15	1070,36	3,05
405x405, 4	2375,77	2246,98	2201,48	-1,92
405x405, 3	2420,76	2394,62	2319,82	-3,09
405x405, 4	2347,26	2117,57	2101,13	-0,70
405x405, 1	1148,30	529,06	562,66	2,93
405x405, 5	2304,48	1899,31	1925,54	1,14
405x405, 3	2416,78	2384,17	2311,12	-3,02
405x405, 6	2085,93	1236,22	1300,78	3,10
Snitt=				<u>0,49</u>

Strekkkapasitet (kN)

bxh,l	N _{t,Rd}	MRT:	MRE:	Spart areal i
		N _{t,Rd,fi}	N _{t,Rd,fi,ten}	% med MRE:
405x405, 1	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
405x405, 7	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
405x405, 4	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
405x405, 3	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
405x405, 4	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
405x405, 1	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
405x405, 5	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
405x405, 3	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
405x405, 6	2024,95	2070,58	2137,74	3,32
Snitt=				<u>3,32</u>







Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>

Forespørsel om figur

5 e-poster

Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>

10. april 2015 kl. 11.07

Til: info@sp.se

Kopi: Johanne Bjertnæs Augestad <johanne_ba@hotmail.com>

Hei.

I vår avslutter vi vår treårige bachelorutdanning ved Høgskolen i Gjøvik, avdeling teknologi, økonomi og ledelse. I den forbindelse skriver vi en bacheloroppgave om branndimensjonering av tre. I innledningen til oppgaven vår ønsker vi å få lov til å bruke en figur fra en av deres publikasjoner. Det dreier seg om figur 4.1 i 'Brandsäkra trähus 3 Nordisk - baltisk kunskapsöversikt och vägledning' ISBN 978-91-87017-32-2. Får vi lov til å bruke den? Håper på raskt og positivt svar.

Med hilsen

Johanne Bjertnæs Augestad og Ingrid Hansen

Birgit Östman <Birgit.Ostman@sp.se>

13. april 2015 kl. 07.31

Til: "hansen.ingridh@gmail.com" <hansen.ingridh@gmail.com>

Hej

Tack för intresset. Ni får använda figuren om ni tydligt anger källan.

Lycka till med arbetet. Ni får gärna skicka oss ett ex av ert arbete.

Hälsningar

Birgit

Birgit Östman

SP Hållbar samhällsbyggnad

Träbyggande och boende

Box 5609, 114 86 Stockholm

Tel: 010-516 6224; Mob: 070-529 1871

<http://www.sp.se/sv/index/services/fireproofbuilding/Sidor/default.aspx>**Från:** Ingrid Hansen [<mailto:hansen.ingridh@gmail.com>]**Skickat:** den 10 april 2015 11:08**Till:** Receptionen Borås**Kopia:** Johanne Bjertnæs Augestad**Ämne:** Forespørsel om figur

[Sisert tekst skjult]

Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>
Til: Johanne <johanne_ba@hotmail.com>

13. april 2015 kl. 08.09

----- Videresendt melding -----

Fra: "Birgit Östman" <Birgit.Ostman@sp.se>
Dato: 13. apr. 2015 07:30
Emne: SV: Forespørsel om figur
Til: "hansen.ingridh@gmail.com" <hansen.ingridh@gmail.com>
Kopi:

[Sitert tekst skjult]

Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>
Til: sweet.red.rose92@gmail.com, ingrid.hansen92@gmail.com

14. april 2015 kl. 11.48

[Sitert tekst skjult]

Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>
Til: sweet_red_rose92@hotmail.com

14. april 2015 kl. 11.48

----- Forwarded message -----

From: **Birgit Östman** <Birgit.Ostman@sp.se>
Date: 2015-04-13 7:31 GMT+02:00
Subject: SV: Forespørsel om figur
To: "hansen.ingridh@gmail.com" <hansen.ingridh@gmail.com>

[Sitert tekst skjult]



Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>

Forespørsel om figur

3 e-poster

Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>

10. april 2015 kl. 11.12

Til: info@standard.no

Hei.

I vår avslutter vi vår treårige bachelorutdanning ved Høgskolen i Gjøvik, avdeling teknologi, økonomi og ledelse. I den forbindelse skriver vi en bacheloroppgave om branndimensjonering av tre. I teoridelen av oppgaven vår ønsker vi å få lov til å bruke to figurer fra en av deres publikasjoner. Det dreier seg om figur 3.2 og figur 4.1 i 'NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010 Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering' ICS 13.220.50; 91.010.30; 91.080.20. Får vi lov til å bruke dem? Håper på raskt og positivt svar.

Med hilsen

Johanne Bjertnæs Augestad og Ingrid Hansen

Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>

17. april 2015 kl. 13.53

Til: Johanne Bjertnæs Augestad <johanne_ba@hotmail.com>

----- Videresendt e-post -----

Fra: **Ingrid Hansen** <hansen.ingridh@gmail.com>

Dato: 10. april 2015 kl. 11.12

Emne: Forespørsel om figur

Til: info@standard.no

[Sikkert tekst skjult]

Ingeborg J. Hermansen <ijh@standard.no>

20. april 2015 kl. 14.13

Til: Johanne <johanne_ba@hotmail.com>

Kopi: "hansen.ingridh@gmail.com" <hansen.ingridh@gmail.com>

Hei,

Takk for e-post med spørsmål om gjengivelse av Figur 3.2 og Figur 4.1 fra 'NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010 i deres bacheloroppgave.

Norsk Standard er opphavsrettslig beskyttet, og Standard Online AS forvalter rettighetene på vegne av Standard Norge. Vi legger til grunn ISOs retningslinjer i alle spørsmål om gjengivelse. I dette tilfellet forstår vi spørsmålet dithen at gjengivelsen kun skal skje i bacheloroppgaven, som spres i inntil 8 eksemplarer ved Høgskolen i Gjøvik, og eventuelt tilgjengeliggjøres via høgskolens bibliotek.

Med denne forutsetningen, gir vi tillatelse til vederlagsfri gjengivelse av de to figurene i denne oppgaven. Vennligst sett inn opphavsrettsnotis i oppgaven, slik at det fremgår at gjengivelsen skjer etter avtale:

Figur 3.2 og Figur 4.1 fra NS-EN 1995-1-2:2004+NA:2010 er gjengitt av Johanne Bjertnæs Augestad og Ingrid Hansen i denne bacheloroppgaven ved Høgskolen i Gjøvik med tillatelse fra Standard Online AS 04/2015. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se www.standard.no



Forespørsel om figur
3 e-poster

Lykke til med oppgaven!

Med vennlig hilsen
Standard Online AS

Ingeborg J. Hermansen
Utviklingssjef

Må du skrive ut denne e-posten? Kanskje ikke.

I vår avsluttet vi vår tidligere bedriftsundersøkelse ved hjelp av en spørreundersøkelse. Det betyr at du har fått en oppgave som du må løse. Du kan finne ut mer om oppgaven ved å klikke på lenken til figur 3.2 og figur 4.1 i NS-EN 1995-1-2:2004-NA:2010 Eurocode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner Del 1-2: Grensetilstand dimensjonering ICS 18.220.20-91 01.03.2015. Det er viktig at du følger instruksjonene og svarer på spørsmårene.

Fra: Johanne [mailto:johanne_ba@hotmail.com]
Sendt: 20. april 2015 12:02
Til: Ingeborg J. Hermansen
Emne: FW: Forespørsel om figur

From: johanne_ba@hotmail.com
To: vst@standard.no
Subject: FW: Forespørsel om figur
Date: Fri, 17 Apr 2015 13:53:59 +0200

Date: Fri, 17 Apr 2015 13:53:09 +0200
Subject: Fwd: Forespørsel om figur
From: hansen.ingridh@gmail.com
To: johanne_ba@hotmail.com

[Sitert tekst skjult]



Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>

Treet - illustrasjon

3 e-poster

Marina Trifkovic <mt@artec.no>

11. mai 2015 kl. 13.59

Til: hansen.ingridh@gmail.com

Hei

Legger ved et bilde som dere kan bruke og en forklarende PDF som viser hvordan bygget settes sammen.

Hilsen

Marina Trifkovic

Master i arkitektur MNAL

ARTEC AS | Damsgårdsveien 135 | 5160 Laksevåg

Tlf: 552 07 850 | Mobil: 980 53 280 | mt@artec.no | www.artec.no*Tenk på miljøet før du skriver ut!*

2 vedlegg

**eksterior-1-medium.jpg**
1894K**Verdens-høyeste-trehus.pdf**
3200K

Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>

11. mai 2015 kl. 15.19

Til: Johanne Bjertnæs Augestad <johanne_ba@hotmail.com>

----- Videresendt e-post -----

Fra: **Marina Trifkovic** <mt@artec.no>

Dato: 11. mai 2015 kl. 13.59

Emne: Treet - illustrasjon


Til: hansen.ingridh@gmail.com

[Sikkert tekst skjult]

2 vedlegg



eksterior-1-medium.jpg
1894K

 Verdens-høyeste-trehus.pdf
3200K

Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>
Til: Johanne Bjertnæs Augestad <johanne_ba@hotmail.com>

11. mai 2015 kl. 15.45


----- Videresendt e-post -----

Fra: Ingrid Hansen <hansen.ingridh@gmail.com>
Dato: 11. mai 2015 kl. 15.19
Emne: Fwd: Treet - illustrasjon
Til: Johanne Bjertnæs Augestad <johanne_ba@hotmail.com>
[Sikkert tekst skjult]

2 vedlegg



eksterior-1-medium.jpg
1894K

 Verdens-høyeste-trehus.pdf
3200K

KARAKTERISTISKE FASTHETER LIMTRE OG SMALT LIMTRE

	Egenskap/enhet		Limtre GL30C	Smalt Limtre
Bøyning	$f_{m,k}$	N/mm ²	30	28(24 ^{**})
Strekk	$f_{t,0,k}$	N/mm ²	19,5	19,5
	$f_{t,90,k}$	N/mm ²	0,5	0,5
Trykk	$f_{c,0,k}$	N/mm ²	24,5	24,5
	$f_{c,90,k}$	N/mm ²	2,5 (5,7 [*])	2,5 (5,7 [*])
Skjær	$f_{v,k}$	N/mm ²	3,5	3,5
Rulle skjær	$f_{r,k}$	N/mm ²	1,2	1,2
Elastisitetsmodul	$E_{0, \text{mean}}$ deformasjonsberegning	N/mm ²	13 000	12 500
	$E_{0, 05}$ stabilitetsberegning	N/mm ²	10 800	10 800
	$E_{90, \text{mean}}$ deformasjonsberegning	N/mm ²	300	300
Skjærmodul	$G_{0, \text{mean}}$	N/mm ²	650	650
Rulle skjærmodul	$G_{r, \text{mean}}$	N/mm ²	65	65
Densitet	ρ_k styrkeberegning	kg/m ³	390	390
	ρ_{mean} lastberegning	kg/m ³	430	430

Karakteritiske fasthetsverdier for styrkeklasse GL30C er i.h.t NS-EN 14080:2013 tabell 4

Karakteritiske fasthetsverdier for smalt limtre er i.h.t NS-EN 14080:2013 punkt 5.1.7
(bredde min 38mm; høyde/bredde ≤ 8)

^{*}) skal KUN benyttes sammen med beregningsregler gitt i rapport nr. 86 fra Norsk Treteknisk Institutt (www.treteknisk.no). Dette som alternativ metode til EK5 pkt. 6.1.5.

^{**}) smalt limtre er splittet i tre deler fra emne

For fasthetsverdier for Kerto henviser vi til gjeldende Tekniske Godkjenning:
Kerto-S TG 2142

Gode rom