

Sikre glassrekkverk



SINTEF Fag

Jan-Fredrik Aasheim og Magnus Kron

Sikre glassrekkverk

SINTEF akademisk forlag

SINTEF Fag 71
Jan-Fredrik Aasheim og Magnus Kron

Sikre glassrekkverk

Emneord: glass, rekkverk, innfesting, treverk, dokumentasjonskrav, NS 3510, TEK17

ISSN 1894-2466
ISBN 978-82-536-1682-7

Prosjektnummer: 102021352

Foto forside: www.midthaug.no

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2020

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

SINTEF akademisk forlag
SINTEF Community
Børrestuveien 3
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 40 00 51 00

www.sintef.no/community
www.sintefbok.no

Forord

Dette prosjektet er initiert av SINTEF og partnerne for å bidra til at glassrekkverk i Norge skal være sikre, fungere godt og se fine ut i mange år. Mange av partnerne har opplevd utfordringer med innfestingen av glassrekkverk, noe som gir rekkverk med for liten styrke og stivhet. Det gjelder hovedsakelig ved innfesting i treverk. Mange har også gitt uttrykk for at krav til glassrekkverk og krav til dokumentasjon oppleves som uklare. Vi håper at denne rapporten kan bidra til å øke kunnskapen om glassrekkverk i Norge.

Prosjektet er finansiert av de 16 partnerne i prosjektet: Glass og Fasadeforeningen, DiBK, Sagstuen, PKS Industri, OnLevel, Fana Glass, Arnøy Engros, Brødrene Midthaug, BeslagGrossisten, Sørbo Industribeslag, Backe Entreprenør, Q-railing Norway, Glassløsninger, O. M. Rakvåg, Profilco og GBS Produkter.

Arbeidet er utført av SINTEF Community, avdeling Bygninger og Installasjoner, faggruppene Byggeteknikk og Lab Byggforsk Oslo. Jan-Fredrik Aasheim har vært prosjektleder, Dag Henning Sæther har vært medarbeider ved laboratorieforsøk og Magnus Kron har vært medforfatter og kvalitetssikrer.

Takk til alle partnerne som har gjort gjennomføringen av dette prosjektet mulig.

Oslo, 18.12.2020

Partow Pakdel Henriksen
Forskningsjef
SINTEF

Jan-Fredrik Aasheim
Rådgiver
SINTEF



Sammendrag

Denne rapporten er resultatet av et partnerfinansiert forskningsprosjekt utført av SINTEF i perioden høst 2019 til høst 2020.

Rapporten handler om glassrekkverk, med spesielt søkelys på krav, prosjektering, ansvarsforhold og dokumentasjon, samt innfesting av glassrekkverk til treverk.

Partnerne i prosjektet representerer bransjeforening, myndighetene, en byggentreprenør, leverandører av glassrekkverk, skruer og beslag og en glassprodusent.

Mål og omfang for prosjektet ble definert med utgangspunkt i partnernes egne tilbakemeldinger om de mest krevende problemstillingene knyttet til glassrekkverk.

Rapporten er åpent tilgjengelig og er ment som en veileder, med oversikter og anbefalinger for glassrekkverk.

I forbindelse med prosjektet ble det gjennomført 42 laboratorieprøvinger med rekkverksstolper festet til treverk, med ulike innfestingsprinsipper og utforminger av underlagskonstruksjonen. Resultatene bekrefter at innfesting av rekkverk til treverk er utfordrende med tanke på å oppnå tilstrekkelig styrke og stivhet og for å unngå varige deformasjoner. Flere løsninger som vi vet benyttes på norske bygninger, er sannsynligvis ikke gode nok. Likevel har prøvingene avdekket noen tilfredsstillende løsninger. Se rapporten for detaljer og anbefalinger.

Innhold

FORORD.....	3
SAMMENDRAG	4
1 INNLEDNING.....	6
1.1 BAKGRUNN	6
1.2 MÅL OG PROBLEMSTILLINGER.....	7
1.3 AVGRENSNING	7
2 PROSJEKTERING AV GLASSREKKVERK.....	8
2.1 GJELDENDE REGELVERK OG KRAV	8
2.2 RELEVANTE STANDARDER OG ANVISNINGER FOR PROSJEKTERING.....	9
2.3 DIMENSJONERENDE LASTER	10
2.4 ANSVARSFORHOLD	13
2.5 VURDERING AV OPPFØRTE GLASSREKKVERK	16
2.6 ANBEFALINGER.....	16
3. DOKUMENTASJON AV GLASSREKKVERK.....	19
3.1 INNLEDNING	19
3.2 KRAV TIL PRODUKTDOKUMENTASJON (DOK).....	19
3.3 KRAV TIL DOKUMENTASJON FOR EGNETHET I BRUK (TEK).....	22
3.4 TEKNISK GODKJENNING	24
3.5 TILSYN	24
4. PRØVING AV GLASSREKKVERK.....	26
4.1 RELEVANTE STANDARDER OG METODER	26
4.2 SINTEFS PRØVERETNINGSLINJER FOR GLASSREKKVERK	26
5. DRØFTING AV GLASSREKKVERK OG INNFESTING	30
5.1 BRUKSOMRÅDER OG DIMENSJONERENDE LASTER	30
5.2 TYPER AV GLASSREKKVERK.....	30
5.3 REKKVERKETS HØYDE OG AVSTAND MELLOM STOLPENE	30
5.4 REKKVERKETS EGEN STIVHET OG STYRKE.....	32
5.5 SAMVIRKE MELLOM STOLPER OG HÅNDLØPER	33
5.6 UTFORMING AV FESTER OG PLASSERING AV SKRUER.....	34
5.7 MATERIALKVALITETEN TIL UNDERLAGET	36
5.8 SKRUETYPEN	37
5.9 MELLOMLEGG	38
5.10 UTFORMING AV UNDERLAGSKONSTRUKSJONEN	39
5.11 PRAKTISKE HENSYN VED MONTERING	42
5.12 HENSYN TIL KORROSJON	43
6. ANBEFALINGER FOR INNFESTING I TREVERK	44
REFERANSER.....	46
VEDLEGG A LITTERATURSTUDIER	48
VEDLEGG B SINTEFS PRØVINGSMETODER FOR GLASSREKKVERK.....	50
VEDLEGG C LABORATORIEPRØVING AV INNFESTING I TREVERK	55

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

De siste ti-femten årene har glassrekkverk blitt tatt i bruk i stor skala. Glassrekkverk er estetisk tiltalende produkter med flere fordeler for brukere av bygningene, for eksempel at de slipper mer lys inn i bygningen og gir bedre utsyn. Gjennom prøving og samarbeid med glassbransjen har SINTEF samtidig erfart at glassrekkverk ikke er sikre nok. De har falt ned, og vi får meldinger om glassrekkverk som oppleves utrygge. Videre får vi stadig henvendelser om glassrekkverk hvor det stilles spørsmål ved dokumentasjonen eller utilstrekkelig dokumentasjon av produktene.

I 2018 og 2019 kartla SINTEF forutsetningene for et forskningsprosjekt som grundigere undersøker hvordan et glassrekkverk bør være utformet og innfestet. Vi kontaktet Glass og Fasadeforeningen, DiBK, byggherrer, byggentreprenører, arkitekter, produsenter og leverandører av glassrekkverk mfl. Basert på tilbakemeldingene på prosjektideen sendte vi ut invitasjoner til et partnerfinansiert forskningsprosjekt til et stort antall aktører i bransjen. Høsten 2019 hadde 16 partnere signert kontrakt om deltakelse, og arbeidet kunne starte.

I oppstartsmøtet ble det gjennomført en workshop hvor prosjektpartnerne kom med innspill til problemstillinger, erfaringer og ønsker for prosjektet. Problemstillingene som oftest ble nevnt, dreide seg om innfesting i treverk og uklarheter rundt regelverk, ansvarsforhold, krav og dokumentasjon av glassrekkverk.



Figur 1
Eksempel fra en henvendelse som SINTEF har mottatt, hvor glassrekkverket på takterrassen har blåst ned. Årsaken var for dårlig innfesting i underlaget og store deler av rekkverket blåste ned. Heldigvis kom ingen til skade. Bildet er gjengitt med tillatelse av huseier. Foto: Anne Holmen

1.2 Mål og problemstillinger

Prosjektets overordnede mål er å bidra til at glassrekkverk som omsettes og monteres i norske bygninger, skal være sikre.

Prosjektet har hatt følgende delmål, basert på de øverst rangerte problemstillingene fra oppstartsmøtet:

- Kartlegge gjeldende regelverk og beste praksis for prosjektering
- Tydeliggjøre krav til glassrekkverk
- Beskrive regelverk og krav til dokumentasjon
- Beskrive metoder og krav ved prøving
- Gjennomføre laboratorieprøving av rekkverk innfestet i treverk
- Utforme anbefalinger og beskrivelser av gode løsninger for innfesting i treverk

Målgruppa for prosjektet er alle aktørene i verdikjeden: produsenter, leverandører, prosjekterende, rådgivere, bestillere, utførende, myndigheter og sluttbrukere.

Leveransen fra prosjektet er denne forskningsrapporten. Rapporten skal være åpent tilgjengelig for alle og er ment som et hjelpemiddel for å gjøre trygge valg og gode vurderinger ved prosjektering, bestilling, montering og vurdering av glassrekkverk.

I den grad det lar seg gjøre er rapporten også tenkt å være grunnlag for ny anvisning eller revisjon av eksisterende anvisninger i Byggforskserien.

1.3 Avgrensning

Med hensyn til tilgjengelig budsjett og tidsramme har det naturlig nok vært nødvendig å gjøre noen avgrensninger i prosjektet.

Prosjektet omfatter de målene som er listet opp i kapittel 1.2. Andre problemstillinger som ble tatt opp i oppstartsmøtet, men ikke prioritert i dette prosjektet, eller problemstillinger som har dukket opp underveis i prosjektet, er listet opp nedenfor. Dette er altså problemstillinger som ikke er dekket i rapporten, men som det likevel kan være nødvendig å undersøke nærmere.

- Glasskvaliteter og laminering
- Detaljer i utførelsen av selve glassrekkverket
- Innfesting i andre materialer enn treverk
- Innfesting i tynne betongdekker
- Fuktsikring ved montering i membraner
- Utforming av trappekonstruksjoner for montering av glassrekkverk
- Bestandighet

Vi har også registrert at det monteres for tynne glassruter i rekkverk og at innfestingen av glasset er for svak. Dette er heller ikke undersøkt nærmere i prosjektet. Bakgrunnen er at det foreligger en standard, NS 3510, som beskriver preaksepterte glasstykker og utforminger. Alternativt kan det beregnes. Valg av glass og innfesting av glassruta skal hver enkelt leverandør ta ansvar for, og slike problemstillinger egner seg derfor i andre typer prosjekter.

Bruk av for tynne glass i glassrekkverk og for svak innfesting av glassruter kan utgjøre en personrisiko, for eksempel ved nedblåsing av rekkverk og nedfall av glass. Dersom man har mistanke om at det er tilfellet, oppfordrer vi til å følge det opp. Se kapittel 2.5 om vurdering av oppførte glassrekkverk. Man kan for eksempel tipse Direktoratet for byggkvalitet (DiBK). Tipsskjema finnes her: https://sgbruker.dibk.no/product_report_cases/new

2 Prosjektering av glassrekkverk

2.1 Gjeldende regelverk og krav

Aller viktigst

Glassrekkverk skal være sikre. De viktigste egenskapene for et glassrekkverk er at det skal tåle de belastningene det kan forventes å bli utsatt for, og at det skal være montert for å sikre mot fall. Hvis det knuser, skal det gjøre minst mulig skade

Overordnede regler er gitt i **byggteknisk forskrift (TEK17)**.

Rekkverk som del av et byggverk inngår i byggesaksbestemmelsene i henhold til plan- og bygningslovens § 20-1, med tilhørende materielle krav i TEK17.

Flere konkrete krav til rekkverk er beskrevet i TEK17. I Tabell 1 har vi kortfattet gjengitt noen av de viktigste materielle kravene.

Tabell 1

Materielle krav til glassrekkverk i TEK17

Paragraf	Sammenfattet krav, veiledning og preakseptert ytelse
§ 10-1 Personlig og materiell sikkerhet	Byggverket skal plasseres, prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet for personer og husdyr. Konstruksjoner i byggverk skal motstå de påkjenninger de kan forventes å bli utsatt for. Forskriftens minstekrav til personlig og materiell sikkerhet vil være oppfylt for konstruksjoner dersom det benyttes metoder og utførelse etter Norsk Standard.
§ 10-3. Nedfall fra og sammenstøt med byggverk	(1) Hindre at materialer som benyttes utvendig på tak og fasade, løsner og faller ned slik at det medfører skade på personer, husdyr eller utstyr. Bygningsdeler må forankres i bygningens bæresystem.
§ 12-5. Sikkerhet i bruk	Nivåforskjeller på mer enn 0,5 meter må sikres med rekkverk eller på annen forsvarlig måte.
§ 12-15. Utforming av rekkverk	(1) Barn skal ikke lett kunne klatre over rekkverket. (2) Rekkverk i trapper og ramper skal ha høyde minimum 0,9 m over gulv eller trinn. (3) Balkonger, terrasser og lignende skal ha rekkverk med høyde a) minimum 1,2 m der nivåforskjellen er mer enn 10,0 m b) minimum 1,0 m der nivåforskjellen er inntil 10,0 m Nivåforskjellen måles fra overkant dekke. (5) Åpninger i rekkverket skal være maksimum 0,10 m opp til en høyde på minimum 0,75 m. For rekkverk over 1,0 m skal åpninger i rekkverket være maksimum 0,10 m i en høyde opp til minimum 0,25 m under topp av rekkverk. Den horisontale avstanden mellom en bygningsdel og det utenpåliggende rekkverket skal være maksimum 0,05 m. – Det er krav om håndløper i trapp, men ikke på rekkverk på balkong, terrasse o.l.
§12-17. Vindu og andre glassfelt	(1) Vindu og andre glassfelt som ved knusing kan påføre skade på person eller husdyr, skal sikres mot sammenstøt og fall, opp til høyde minimum 0,8 m over gulv. Sikringen kan være brystning, personsikkerhetsrute eller en annen forsvarlig metode.

Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning kan man lese sin helhet her:

<https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>

Krav til dokumentasjon er omtalt i kapittel 3.

2.2 Relevante standarder og anvisninger for prosjektering

Relevante standarder og anvisninger for prosjektering og dimensjonering av glassrekkverk er vist i Tabell 2.

For daterte referanser gjelder bare den utgaven som er nevnt. For udaterte referanser gjelder siste utgaven av det refererte dokumentet (innbefattet endringsblad).

Tabell 2

Standarder og anvisninger i Byggforskserien som er relevante for prosjektering av glassrekkverk

Prosjektering av glassrekkverk, innfesting og underlagskonstruksjoner:	
NS 3510:2015	<i>Sikkerhetsruter i byggverk – Krav til prosjektering og klasser for ulike bruksområder</i>
NS-EN 1990	<i>Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner</i>
NS-EN 1991-1-1	<i>Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-1: Allmenne laster – Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger</i>
NS-EN 1991-1-4	<i>Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-4: Allmenne laster – Vindlaster</i>
NS-EN 1992	<i>Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner</i>
NS-EN 1993	<i>Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner</i>
NS-EN 1994	<i>Eurokode 4: Prosjektering av samvirkekonstruksjoner av stål og betong</i>
NS-EN 1995	<i>Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner</i>
NS-EN 1999	<i>Eurokode 9: Prosjektering av aluminiumskonstruksjoner</i>
NS-EN 13200-3	<i>Tilskueranlegg – Del 3: Rekkverk, gjerder og bølgebrytere – Krav</i>
NS-EN 1090	<i>Utførelse av stålkonstruksjoner og aluminiumskonstruksjoner</i>
NS 3516	<i>Utførelse av lastbærende trekonstruksjoner</i>
Dimensjonering av glass til bruk i glassrekkverk:	
NS 3510:2015	<i>Sikkerhetsruter i byggverk – Krav til prosjektering og klasser for ulike bruksområder</i>
NS-EN 572	<i>Bygningsglass – Basisprodukter av kalksodasilikatglass</i>
NS-EN 12150	<i>Bygningsglass – Termisk herdet kalksodasilikat-sikkerhetsglass</i>
NS-EN 14449	<i>Bygningsglass – Laminert glass og laminert sikkerhetsglass – Evaluering av samsvar / produktstandard</i>
NS-EN 16612	<i>Bygningsglass – Bestemmelse av kapasitet ved beregning for ruter belastet normalt på glassplanet</i>
NS-EN 12600:2002	<i>Bygningsglass – Pendelprøving – Slagprøvningsmetode og klassifisering av plant glass</i>
Anvisninger og veiledere:	
Balkongforeningen i Norden	<i>Tekniske anvisninger for kvalitetssikring av balkonger og innglassinger (Ny utgave skal etter planen publiseres i 2021.)</i>
Byggforskserien	<i>536.112 Rekkverk</i>
Byggforskserien	<i>573.151 Mekaniske treforbindelsesmidler</i>
Byggforskserien	<i>526.411 Utkraget trebalkong</i>

Den viktigste standarden for prosjektering av glassrekkverk er **NS 3510:2015** (Standard Norge, 2015).

2.3 Dimensjonerende laster



Figur 2
Glasset har blåst ned ved vindlaster som glassrekkverket skulle vært dimensjonert for. Bildet er gjengitt med tillatelse fra sameiet. Foto: SINTEF

Figur 2 viser et eksempel på glassrekkverk som ikke har tålt de lastene det skulle vært dimensjonert for.

Mekanisk motstandsevne og stabilitet skal dokumenteres, se kapittel 3.

Tilstrekkelig kapasitet for dimensjonerende laster kan dokumenteres gjennom beregning, prøving eller i kombinasjon av beregning og prøving.

NS 3510:2015 inneholder preaksepterte eksempler for glassrekkverk med hensyn til glasstørrelser og innfesting av glass. Det har blant annet betydning for glassrekkverkets høyde og c/c-avstand mellom rekkverksstolper.

NS 3510:2015 inneholder også dimensjoneringsregler og laster som glassruta i glassrekkverket skal dimensjoneres for. Glassrekkverket i sin helhet, innfestingen og den underliggende konstruksjonen som glassrekkverket er festet i må følgelig dimensjoneres for de samme lastene.

Nyttelaster på rekkverk og vegger av glass, som i all hovedsak er last fra personer, er definert i NS 3510, tabell B.1 og gjengitt her i Tabell 3.

Tabell 3
Nyttelaster på rekkverk og vegger. Kilde: NS 3510:2015, Tabell B.1

Bruksområde (brukskategori) NS-EN 1991-1-1:2002 +NA:2008, tabell NA 6.1	Primærlaster NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008 tabell NA 6.12	Sekundærlaster (definert i denne standarden)	
	Horisontal linjelast ^a kN/m	Jevnt fordelt last ^b kN/m ²	Punktlast ^c kN
A, B og C1	1,0	1,0	0,25
C2, C3, C4 og D	1,5	1,5	0,25
C5	3,0	3,0	0,50

^a Primærlasten angriper i overkant rekkverk eller maksimalt 1,2 m over gulvet.
^b Jevnt fordelt sekundærlast har angrepsområde fra gulvnivå til største høyde 1200 mm fra gulvet.
^c Punktlasten, sekundærlast, har angrepspunkt midt på ruten og største høyde 1000 mm fra gulvet. Fordelingsflaten er 100 mm x 100 mm.

Brukskategorier og primærlastene er hentet direkte fra NS-EN 1991-1-1 (Eurokode 1).
Spesifisering og eksempler på brukskategoriene er gjengitt i Tabell 4 for informasjon.

Tabell 4
Brukskategorier for bygninger. Kilde: NS-EN 1991-1-1:2002 + NA:2019, Tabell NA 6.1 (Standard Norge, 2019)

Kategori	Spesifikk bruk	Eksempel
A	Arealer for inneaktiviteter og hjemmeaktiviteter	Rom i boligbygg, sengerom og behandlingsrom i sykehus, soverom i hoteller og gjestgiverier, kjøkken og toaletter
B	Kontorarealer	
C	Arealer der personer kan samles (med unntak av arealer som er definert i kategori A, B og D) ¹⁾	C1 Arealer med bord osv., f.eks. i skoler, kafeer, restauranter, spisesaler, leserom, resepsjoner osv. C2 Arealer med faste seter, f.eks. arealer i kirker, teatre eller kinosaler, konferanserom, forelesningssaler, forsamlingsaler, venterom medregnet forhall på jernbanestasjon osv. C3 Arealer uten hindringer for personer i bevegelse, f.eks. arealer i museer, utstillingsrom osv. og ankomstområder i offentlige bygg og administrasjonsbygg, hoteller, sykehus, jernbanestasjonshaller C4 Arealer med mulighet for fysiske aktiviteter, f.eks. dansesaler, gymnastikkrom, scener osv. C5 Arealer som lett overfylles, f.eks. i bygg for offentlig bruk, som konsertsaler, idrettshaller medregnet tribuner og atkomstområder og jernbaneperronger
D	Forretningsarealer	D1 Arealer i vanlig detaljhandel D2 Arealer i varehus

¹⁾ Det gjøres oppmerksom på 6.3.1.1(2), særlig for C4 og C5. Se NS-EN 1990 når det må tas hensyn til dynamiske effekter. For kategori E, se tabell 6.3.

MERKNAD 1 Oppdragsgiver kan fastsette at arealer som normalt kan settes i kategori C2, C3, C4, avhengig av bruk, kan settes i kategori C5.

MERKNAD 2 Tabellen viser kategoriinndelingen som skal brukes.

MERKNAD 3 Se 6.3.2 for lagring eller industrivirksomhet.

- Primærlasten **horisontal linjelast** virker over hele rekkverkets bredde og i retning utover fra der personene oppholder seg. Lasten skal angripe i overkant av rekkverket eller maks 1,2 m over gulvet. Høyden måles fra overkant ferdig gulv.

- Sekundærlasten **jevnt fordelt** last virker normalt på rekkverket, utover og innover, over hele glassrutens areal fra gulvnivå til største høyde 1,2 m fra gulvet.
- Sekundærlasten **punktlast** er i hovedsak relevant for beregning av glassruta, og er i de aller fleste tilfeller ikke dimensjonerende for glassrekkverkssystemet, innfesting og underliggende konstruksjon.

Av disse lastene vil horisontal linjelast i de fleste tilfeller være dimensjonerende for glassrekkverkssystemet, innfesting og underliggende konstruksjon.

Dersom man benytter glassruter som er innenfor de preaksepterte eksemplene i NS 3510, kan man gå ut fra at glassrutene er tilstrekkelig dimensjonert for rekkverket (forutsatt at glasset er av riktig kvalitet).

Vindlast skal beregnes etter NS-EN 1991-1-4 for glassrekkverk som benyttes utvendig.

Så lenge vindlasten, ekskludert partialfaktor, men inkludert alle formfaktorer og avskjermingsfaktorer etter NS-EN 1991-1-4, kan dokumenteres å være mindre eller lik den jevnt fordelte sekundærlasten, kan rekkverk som ikke er høyere enn 1,2 m, anses å være dimensjonert for utvendig vindlast og kan da utføres som angitt i NS 3510. Hvis ikke, skal man gjøre egne beregninger.

Lastene regnes ikke å opptre samtidig. Derfor skal ingen av lastene kombineres.

Publikasjonen *Tekniske anvisninger for kvalitetssikring av balkonger og innglassinger* (Balkongforeningen i Norden, 2013) inneholder nyttige forklaringer for dimensjonering av vindlast.

En ny versjon av denne publikasjonen for Norge er varslet å komme i 2021. Se <https://bf.nu/>.

For dimensjonering og valg av festemidler for innfesting av glassrekkverket til underlaget har de fleste store leverandørene av festemidler relevante anvisninger og kapasitetstabeller.

Dynamiske og vekslende laster

Bygningsglass prøves for dynamisk last med tungt støt etter NS-EN 12600:2002 (Standard Norge, 2002). Glassrekkverk kan også prøves for dynamiske personlaster basert på pendelprøving etter NS-EN 12600, men det er ikke et spesifikt krav til dette i Norge.

I TEK17 er det et funksjonelt krav om at byggverket skal ha tilfredsstillende sikkerhet, hvor veiledningen til bestemmelsen sier at konstruksjoner i byggverk skal dimensjoneres for de påkjenninger de kan forventes å bli utsatt for.

Pendelprøving kan være hensiktsmessig for å forsikre seg om at glassrekkverkssystemets kapasitet for dynamiske støtlaster, inkludert innfestingen av glasset, er minst like stor som for glassruta som benyttes i rekkverket. Det kan være utfordrende å beregne eller analysere dette teoretisk på en god måte, og det bør fortrinnsvis prøves. Se kapittel 4 for prøvemethode. Bestått pendelprøving er nødvendig for SINTEF Teknisk Godkjenning av glassrekkverk.

Man må forsikre seg om at glassrekkverket og innfestingen av dette tåler vekslende laster over tid, for eksempel fra vind. Laster for dimensjonering av utmatting er som regel vesentlig lavere enn de dimensjonerende statiske lastene. Eksempler på forhold som kan være kritiske for utmatting, er:

- mekaniske skrueankere i betong (kjemiske ankere bør benyttes)
- forbindelser av stål mot aluminium

De aktuelle Eurokodene benyttes til dimensjonering.

Krav til stivhet:

NS-EN 1991-1-1 har ikke krav om maksimal tillatt deformasjon for rekkverk.

Beregningsforutsetningene i NS 3510 for dimensjonering av glassruter legger til grunn største tillatte deformasjon på 50 mm. I tillegg skal maksimal tillatt deformasjon være mindre eller lik $l/20$, hvor l er minste spennlengde.

Byggforskserien 536.112 *Rekkverk* sier: "Stor deformasjon oppleves ofte som utrygt, også når det ikke er fare for brudd. Derfor bør man kontrollere om deformasjonen vil være akseptabel, særlig for rekkverk hvor det er langt mellom innfestingene" (SINTEF, 2018). Erfaringsmessig kan opplevelsen av trygghet påvirkes av høyde over bakken og bruk av glass i rekkverket.

Se også kapittel 4.2 for SINTEFs prøveretningslinjer for glassrekkverk.

Ny Eurokode er ventet

Arbeidet med Eurokode for konstruktivt glass, med konsekvensklasser som dekkes av NS-EN 1990, er godt i gang. Standarden vil bestå av tre deler og er ment å dekke bruk av glass som ikke er omfattet av NS-EN 16612. Typiske komponenter er avstivende glassfiner, søyler, bjelker, selvbærende glasstak, punktfestet glass, *rekkverk* og gulv. Arbeidet utføres av CEN/TC 250/SC11 (Glass og Fasadeforeningen, 2020).

2.4 Ansvarsforhold

Dette avsnittet handler om hvor prosjekteringsansvaret for glassrekkverk ligger når leveransen utføres etter **NS 8417:2011** *Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalunderentrepriser* (Standard Norge, 2011).

(Kilde: jurist i EBA, videreformidlet av Martin Borg i Backe Entreprenør)

Forkortelser:

BH = Byggherre
TE = Totalentreprenør
TUE = Totalunderentreprenør
EBA = Entreprenørforeningen – Bygg og Anlegg

Understrekinger er gjort av EBA [lagt til av SINTEF i klammeparentes].

Som det framgår av understående kan man – veldig grovt – oppsummere gjeldende rett til at **ansvar følger funksjonsfordelingen** [i prosjekter]. Den som har prosjektert/valgt løsninger og materialer, har i utgangspunktet ansvar for dette. Som utslag av alminnelige regler om lojalitet i kontraktsforhold inneholder imidlertid standarden regler om undersøkelsesplikt og varslingsplikt for TUE knyttet til det TE/BH har levert, og ansvar dersom varslingsplikten ikke overholdes.

Forhold som kan medføre diskusjon:

Hvem er ansvarlig for at underlaget rekkverket skal festes i er godt nok?

NS 8417 pkt. 22.3, "TUEs arbeidsgrunnlag", slår fast at:

Totalentreprenøren skal stille til rådighet for TUE det fysiske arbeidsgrunnlaget, herunder andres arbeid på bygget eller anlegget, som TUE skal bygge på [...]

Totalentreprenøren bærer risikoen for at det fysiske arbeidsgrunnlaget er slik TUE hadde grunn til å regne med ut fra kontrakten, oppdragets art og omstendighetene for øvrig.

Det er altså totalentreprenøren som er ansvarlig for at underlaget (levert av TE eller sideentreprenør) som rekkverket skal festes i, er godt nok. UE har imidlertid en undersøkelsesplikt og varslingsplikt knyttet til arbeidsunderlaget, se nedenfor.

Hvem er ansvarlig for underlaget når TUE velger å montere på underlaget, og det i ettertid viser seg ikke å være tilstrekkelig?

TUE har undersøkelsesplikt og varslingsplikt etter NS 8417 pkt. 25.

Punkt 25.1 regulerer "TUEs undersøkelse av forhold som kan forstyrre gjennomføringen av arbeidet under kontrakten". Punkt 25.1.1 slår fast at:

TUE skal som en del av sin produksjonsplanlegging undersøke totalentreprenørens ytelser og andre forhold totalentreprenøren har risikoen for.

Undersøkelsen har som mål å avdekke forhold som vil kunne forstyrre TUEs gjennomføring av arbeidet under kontrakten, og skal særlig legge vekt på:

- a) Om løsninger eller annen prosjektering som totalentreprenøren har risikoen for er ufullstendige, inneholder uoverensstemmelser eller andre svakheter.
[...]
- c) Om det er feil ved materialer eller andre ytelser totalentreprenøren har levert, og
- d) Om det fysiske arbeidsgrunnlaget ... er slik TUE kunne forvente etter kontrakten

Undersøkelsen skal skje i god tid før den aktuelle informasjonen eller leveransen skal benyttes. Når det gjelder materialer som leveres av totalentreprenøren, skal TUEs undersøkelse skje snarest mulig etter kontrakten.

Undersøkelsen har som mål å avdekke forhold som vil kunne forstyrre TEs gjennomføring av arbeidet. Formålet er å pålegge TUE en aktsomhetsplikt med hensyn til vurdering av om underlaget er godt nok for de kontraktsarbeider han skal utføre. Undersøkelsesplikten gjelder uavhengig av om det er ytelser som har inngått i konkurransegrunnlaget, eller om de er utarbeidet av TE/BH etter at kontrakt er inngått. Når TE skal levere arbeidsunderlaget som rekkverket skal festes i, må TUE sjekke at underlaget oppfyller de kravene som gjelder for underlaget.

Punkt 25.1.2 regulerer varslingsplikten og konsekvenser ved manglende varsling fra TUE:

TUE skal varsle totalentreprenøren uten ugrunnet opphold etter at han blir eller burde ha blitt oppmerksom på at det foreligger forhold som nevnt i 25.1.1.

Varsler han ikke innen fristen, kan totalentreprenøren kreve erstatning for tap som kunne vært unngått ved rettidig varsel.

Dersom TUE vil kreve fristforlengelse eller vederlagsjustering som følge av forhold nevnt i 25.1.1, skal kravet varsles og behandles etter bestemmelsene i punkt 33 og 34.

Svar på spørsmålet beror altså på om TUE ble eller burde ha blitt oppmerksom på (ref. EBAs understrekning ovenfor) at underlaget ikke var tilstrekkelig/feil da han monterte rekkverket. Bestemmelsen krever altså ikke at TUE faktisk ble oppmerksom på at underlaget var feil/-utilstrekkelig. Det er tilstrekkelig at han som en del av sin produksjonsplanlegging burde blitt oppmerksom på dette. Standarden gir her føring på en vurdering hvor det avgjørende er om en vanlig aktsom TUE ville blitt oppmerksom på dette.

Dersom TUE har misligholdt varslingsplikten etter denne normen, taper TUE krav på fristforlengelse og vederlagsjustering som ville vært unngått ved rettidig varsel, og TUE må også erstatte tap/merkostnader som TE hadde unngått ved rettidig varsel.

Hvem er ansvarlig for detaljene i rekkverkets oppbygning (skruer, sammenføyninger, profiler, drenering, innfestningsbolter etc.)?

- Antar at detaljer kan omfatte både valg av materialer og prosjektering.
- Standardens utgangspunkt er at ansvar følger funksjonsfordelingen. Med andre ord: Den som prosjekterer/velger løsninger og materialer, har ansvaret for valgt løsning. Det sentrale spørsmålet er da om det er TE eller TUE som har prosjektert/valgt de aktuelle detaljene i rekkverkets oppbygning. Selv om utgangspunktet er at ansvaret ligger på den som har prosjektert/valgt den/de aktuelle detalj(er), har, som påpekt over, TUE varslingsplikt etter 25.1.1, bokstav c dersom han blir eller burde ha blitt oppmerksom på "løsninger eller annen prosjektering som totalentreprenøren har risikoen for er ufullstendige, inneholder uoverensstemmelser eller andre svakheter".

Denne bestemmelsen medfører kontrollplikt med hensyn til for eksempel svakheter eller manglende detaljer/prosjektering fra TE/BH knyttet til sammenføyning av rekkverk, eller knyttet til drenering. Bestemmelsen medfører varslingsplikt og ansvar for konsekvenser av manglende varslingsplikt dersom TUE blir eller burde blitt klar over svakheter ved detaljer/prosjektering.

feil ved materialer eller andre ytelser totalentreprenøren har levert (bokstav c)

Denne bestemmelsen medfører kontrollplikt for om materialene (skruer, innfestningsbolter, glass, beslag osv.) levert av TE/BH har de kvaliteter som er forutsatt. Det betyr for eksempel at han må kontrollere om han har fått levert glass med foreskrevne mål, klar vs. frostet folie osv. Bestemmelsen medfører varslingsplikt og ansvar for konsekvenser av manglende varslingsplikt dersom TUE blir eller burde ha blitt klar over svakheter ved detaljer/prosjektering.

Undersøkelsesplikten/varslingsplikten etter denne bestemmelsen omfatter kun om materialene TE/BH har levert har de foreskrevne kvaliteter. Om det som er levert, er tilstrekkelig til å tilfredsstille kontraktens funksjonskrav, er derimot en kontrolloppgave som følger av pkt. 25.2. Tilsvarende omfatter kontrollplikten knyttet til prosjektering etter pkt. 25.5.1 først og fremst hvorvidt prosjekteringen er tilstrekkelig i omfang. Kvaliteten på prosjekteringen / om den vil tilfredsstille kontraktens funksjonskrav, vil måtte vurderes etter 25.2:

- Bestemmelsen i pkt. 25.2 gjelder "TUEs vurdering av kvaliteten på løsninger og annen prosjektering foreskrevet av totalentreprenøren". Forskjellen på undersøkelsesplikten i pkt. 25.1 og 25.2 er at den første primært retter seg mot forhold som kan forstyrre TE/TUEs eget arbeid. Punkt 25.2 omhandler på sin side en mer generell vurdering av prosjektering, og TE/TUEs plikt til å undersøke er her mer perifer. Plikten til varslingsplikt er derfor begrenset til det TE/TUE forstår eller måtte forstå.

Punkt. 25.2 slår fast at:

TUE skal i rimelig utstrekning vurdere løsninger og annen prosjektering foreskrevet av totalentreprenøren er egnede til å nå de krav til kontraktsgjenstanden som fremgår av kontraktsgjenstanden. Dette gjelder uavhengig av om disse fremgår av kontraktsdokumentene eller foreskrives senere. TUE skal varsle totalentreprenøren uten ugrunnet opphold etter at han blir eller måtte ha blitt klar over at løsninger eller annen prosjektering foreskrevet av totalentreprenøren ikke er egnede til å nå de krav til kontraktsgjenstanden som fremgår av punkt 14. Varsler han ikke innen fristen, kan totalentreprenøren kreve erstatning for tap som kunne vært unngått ved rettidig varsel.

Varslingsplikten i 25.2 må ses i sammenheng med hovedregelen om at TE/BH har ansvar for egen prosjektering og valg av løsninger. TUEs plikt er derfor begrenset til "i rimelig utstrekning" å vurdere om løsninger og prosjektering fra TE/BH er egnet til å oppfylle krav til kontraktsgjenstanden (funksjonskrav mv.). Varslingsplikt for TUE etter 25.2 og ansvar for konsekvenser av manglende varslingsplikt, som påpekt over, først dersom TUE blir eller måtte ha blitt klar over at løsninger eller annen prosjektering som er foreskrevet av TE/BH, ikke er egnet til å nå kravene til kontraktsgjenstanden.

2.5 Vurdering av oppførte glassrekkverk

I noen tilfeller har man behov for ekstern hjelp til å vurdere glassrekkverk som allerede er oppført eller under oppføring. Årsaker til dette kan for eksempel være:

- leverandør eller tiltaksansvarlig klarer ikke skaffe nødvendig dokumentasjon
- manglende eller feilaktig dokumentasjon av vesentlige egenskaper som stivhet og styrke
- klager eller mistanker om for dårlig sikkerhet
- skader oppstått som følge av påkjenninger som glassrekkverket skal tåle

Eksempel på aktører som kan tilby faglige vurderinger, befaring, prøving etc. av glassrekkverk:

SINTEF	E-post: byggforsk@sintef.no, telefon: 40 00 51 00
Glass og Fasadeforeningen	E-post: post@gffn.no, telefon: 47 47 47 05
Bedrifter med GF Autorisert Glassrådgiver	se https://www.glassportal.no/glassportal-no/autoriserte-radgivere
Rådgivende ingeniør	
Glassmester	
Byggmester	
Takstmann	
mfl.	

Kommunen har ansvar for tilsyn med glassrekkverk som allerede er bygd inn i et byggverk eller levert på byggeplassen.

Ved mistanke om ulovlig omsetning av byggevarer kan man sende tips til Direktoratet for byggkvalitet (DiBK). Tipset kan sendes anonymt. Tipsskjemaet fins her:

https://sgbruker.dibk.no/product_report_cases/new

2.6 Anbefalinger

Det viktigste er at glassrekkverk velges/prosjekteres med hensyn til hvor det er tenkt benyttet, og at man prosjekter forutsetningene for innfesting av glassrekkverket på forhånd.

Avklaring av ansvarsforhold

Ansvarsforhold bør avklares før man inngår kontrakt, spesielt med tanke på feil som kan dukke opp. NS 8417:2011 bør benyttes ved totalleveranser.

Prosjekterende, den som har valgt løsninger og materialer (for eksempel totalentreprenør eller byggmester), er som hovedregel ansvarlig for det som er prosjektert. For eksempel:

- fastsettelse av forutsetninger og krav til glassrekkverket, blant annet definering av brukskategori
- det fysiske underlaget som glassrekkverket skal monteres på. Underlagskonstruksjonen skal være tilstrekkelig dimensjonert for de lastene som rekkverket kan utsettes for.

- nødvendig underlag for montering av glassrekkverket, som beskrivelser, snittegninger etc.

Tilbyder, den som leverer glassrekkverket (for eksempel totalunderentreprenør, glassmester eller glassrekkverksleverandør), er som hovedregel ansvarlig for:

- at glassrekkverket er utformet som avtalt og tilstrekkelig dimensjonert for gjeldende forutsetninger
- å kontrollere at underlaget fra prosjekterende er godt nok. Dersom underentreprenøren ikke kontrollerer underlaget, overtas også ansvaret.

Ansvar for innfestingsdetaljer av glassrekkverket til underlaget avhenger av hvem som har valgt løsning og festemidler. Dersom ansvaret skal ligge på tilbyder, bør dette være avtalt som en del av leveransen, og tilbyder må undersøke om underlaget er riktig prosjektert før montering.

Se også kapittel 3 om ansvarsforhold rundt dokumentasjonskrav.

Tidlig planlegging

Usikre glassrekkverk er ofte et resultat av at denne delen av bygningen ikke prioriteres nok eller prioriteres for sent i byggeprosessen. Det er viktig å gjøre ting riktig og nøyaktig under bestilling, prosjektering, utførelse og overtakelse av bygningen.

Prosjektering av forutsetninger for innfesting av glassrekkverk må gjøres spesifikt. Derfor er det viktig å invitere leverandøren av rekkverket i en tidligere fase av byggeprosjektet enn det som ofte er tilfellet.

Kjenn til regelverket

Man skal benytte lover, forskrifter, standarder og produktdokumentasjon eller godkjenninger. Dette skal sikre at minstekravene i gjeldende byggeforskrift er oppfylt.

Tydelig bestilling

Det er viktig at det foreligger en klar beskrivelse av hva som skal leveres, med tydelige krav til forutsetninger og kvalitetsnivå. I spesifikasjonen kan det være fornuftig å vise til standarder, for eksempel NS 3510:2015. Det gjør det enklere og mer forutsigbart for tilbydere. I tillegg får man et mest mulig likt grunnlag for pristilbud. For å få et sikkert og godt glassrekkverk er det videre viktig at kostnaden som legges inn i budsjett, gjenspeiler det som er mulig å levere.

Som forbruker bør man før eventuell bestilling be tilbyder eller ansvarlig foretak for oppsetting av glassrekkverket om å gjøre en befaring.

Riktig dokumentasjon til rett tid

Still krav til dokumentasjonen for glassrekkverket fra leverandøren. Dokumentasjon må legges fram allerede i tilbudsfasen, før man inngår kontrakt med tilbyder. Man bør ikke kjøpe produkter som mangler dokumentasjon.

Videre bør man være sikker på at dokumentasjonen er av tilfredsstillende kvalitet og representativ for de produktene og løsningene som skal leveres. Ved tvil bør man be leverandøren om å dokumentere at produktet oppfyller relevante krav til glassrekkverk i Norge. Man kan også søke råd hos noen som kan gjøre en kompetent vurdering. Det gjelder kanskje spesielt privatpersoner som skal bestille glassrekkverk til boligen sin for første gang.

Tilbyder har også plikt til å informere dersom forutsetninger og prosjekterte løsninger og produkter ikke er egnet.

Standard NS 3510:2015 omfatter i hovedsak selve glasset til rekkverket. Styrke og stivhet i rekkverket ellers er ikke omfattet av standarden og må dokumenteres ved separat beregning

eller prøving. Standarden går heller ikke i detalj når det gjelder bestandighet. Korrosjon på grunn av uheldig kontakt mellom ulike metaller er en vanlig feil.

En SINTEF Teknisk Godkjenning er til god hjelp og dekker alle krav til produktdokumentasjon og kravene i byggt teknisk forskrift i de aller fleste tilfeller.

I SINTEF ser vi alt for mange tilfeller der dokumentasjonen først etterspørres etter at glassrekkverkene er montert – ofte utløst av at det allerede har oppstått en skade på rekkverket og/eller at noen stiller spørsmål til rekkverkens sikkerhet. Ofte viser det seg også at dokumentasjonen av rekkverkens egenskaper er mangelfull. Det kan bli en både kostbar og tidkrevende oppryddingsjobb i etterkant som ingen av partene er tjent med – spesielt dersom det viser seg at rekkverkene ikke har tilstrekkelige egenskaper og må utbedres eller skiftes ut. I ytterste konsekvens kan det være udokumenterte rekkverk som ikke er sikre nok, uten at man er klar over det, og alvorlige ulykker kan inntreffe.

Utførelse

Det er krav om dokumentasjon av riktig utførelse, og at utførelsen er i samsvar med produksjonsunderlaget.

For privatpersoner anbefaler vi å la en profesjonell aktør montere glassrekkverket. Hvis man likevel ønsker å gjøre det selv, er det viktig å følge monteringsanvisningen nøye. Videre er det viktig å være klar over at man da selv står ansvarlig for rekkverkets sikkerhet der det er montert.

Vi har sett glassrekkverk som har blåst ned, og hvor årsaken har vært at gal montering. For eksempel har vi observert innfesting gjennom fliser, med for få og for korte skruer til underlaget.

Overtakelse

Tilstrekkelig produktdokumentasjon skal foreligge ved overtakelsen.

For å kunne vedlikeholde glassrekkverket skal det også foreligge en beskrivelse som gjør det mulig å holde glassrekkverket funksjonelt og estetisk tiltalende over lang tid (FDV-dokumentasjon).



Figur 3
Eksempel på feil utførelse. Fotbrakett i lakkert aluminium til glassrekkverk som er festet i takterrasse av treverk med skruer som korroderer. I tillegg er braketten festet med kun to skruer av beskjedne størrelse. Det gir ikke et tilstrekkelig sikkert rekkverk. Foto: SINTEF

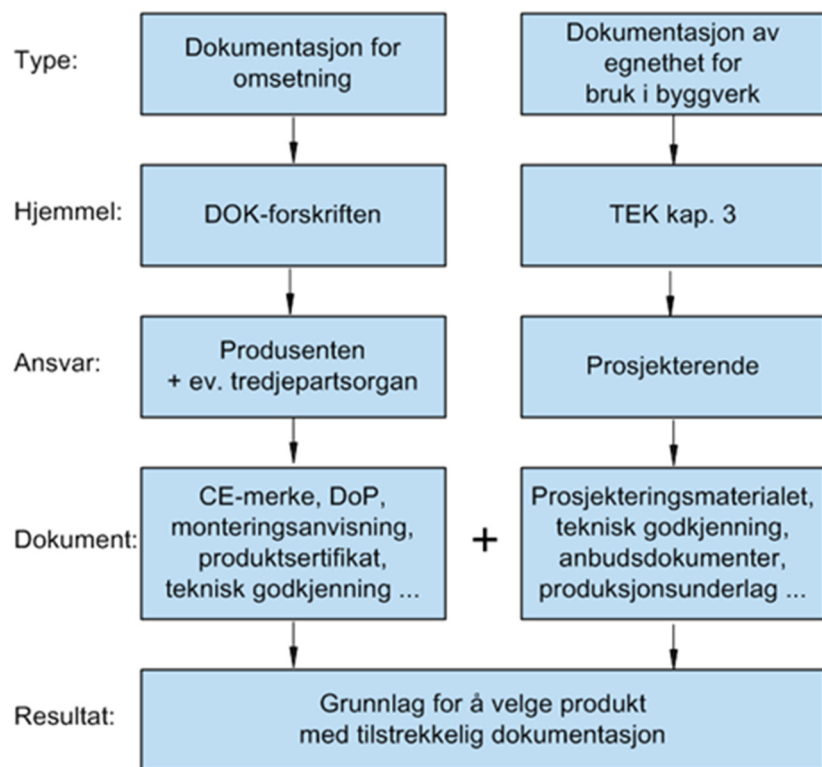
3. Dokumentasjon av glassrekkverk

3.1 Innledning

Krav til dokumentasjon av glassrekkverk omfatter i hovedsak to forhold:

- 1) Produktdokumentasjon for omsetning
- 2) Dokumentasjon av egnethet for bruk i byggverk

Figur 4 illustrerer det generelle grunnlaget for tilstrekkelig dokumentasjon.



Figur 4
Illustrasjon av dokumentasjonskrav

3.2 Krav til produktdokumentasjon (DOK)



Figur 5
Illustrasjon av gyldighetsområdet til forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK)

Alle byggevarer skal ha dokumentasjon. Glassrekkverk er per definisjon en byggevare fordi det bygges varig inn i byggverket og påvirker grunnleggende krav til byggverket. Regler for omsetning og dokumentasjon av produkter til byggverk er gitt i *forskrift om omsetning og*

dokumentasjon av produkter til byggverk (DOK). Forskriften med veiledning kan leses i sin helhet her: <https://dibk.no/regelverk/dok/>

Forpliktelsene til produsent, importør og distributør

En *produsent* er en fysisk eller juridisk person som produserer en byggevare, eller får en slik vare utviklet eller produsert, og som markedsfører denne varen under eget navn eller varemerke. Produsenten skal utføre produksjonskontroll i fabrikk.

Det er produsentens oppgave å utarbeide all nødvendig dokumentasjon.

Importør er enhver fysisk eller juridisk person etablert i EØS-området som markedsfører byggevarer produsert utenfor EØS-området (for eksempel Kina, Russland, Canada). Importører setter byggevarer produsert utenfor EØS-området på markedet for første gang i EØS-området. Av den grunn har importører et større ansvar enn distributører, som kjøper byggevarer fra andre EØS-land.

Distributør er enhver fysisk eller juridisk person i forsyningskjeden, bortsett fra produsenten eller importøren, som gjør byggevaren tilgjengelig på markedet. De har derfor færre forpliktelser enn importører.

Importør og distributør av byggevarer er forpliktet til å sikre at byggevarer har tilstrekkelig dokumentasjon før varen omsettes videre på det norske markedet.

En importør eller distributør som omsetter en byggevare under eget navn eller varemerke eller endrer en byggevare som allerede er brakt i omsetning på en slik måte at det kan påvirke byggevarens ytelser, skal anses som byggevareprodusent og ha de samme forpliktelsene som produsenten.

Produktdokumentasjonens innhold

Basert på DOK § 13:

- Identifikasjon av produsent og importør
- Produsentens og importørens kontaktdetaljer
- Byggevarens vesentlige egenskaper (for glassrekkverk: mekanisk motstandsevne og stabilitet)
- Hvilke tekniske spesifikasjoner som er lagt til grunn
- Navnet på eventuelt tredjepartsorgan, hva som er utført, og når (ikke obligatorisk for glassrekkverk)
- Nødvendige anvisninger og sikkerhetsinformasjon
 - Eks. monteringsanvisning, sikkerhetsinformasjon, opplysninger om farlige stoffer
 - DiBK ber særlig om beskrivelse av innfestingsdetaljer for glassrekkverk.

Produktdokumentasjon skal være på norsk, svensk eller dansk.

CE-merking

Et CE-merke er produsentens egenerklæring om samsvar med en standard/ETA og som forenkler handel innen EU/EØS.

Det er ikke krav om CE-merking av glassrekkverk fordi det ikke fins en harmonisert produktstandard. Noen rekkverkssystemer kan imidlertid være CE-merket på bakgrunn av europeisk teknisk bedømmelse (ETA).

Det er ikke krav til dokumentasjon av enkeltkomponenter som inngår i et glassrekkverk og som selges som et byggesett, bare dokumentasjon på hele byggesettet.

Sikkerhetsglass som omsettes, skal likevel være CE-merket i henhold til harmoniserte standarder for herdet og/eller laminert glass, NS-EN 12150-2 og NS-EN 14449. Det skal også foreligge en ytelseserklæring på norsk, svensk eller dansk dersom produktet markedsføres og omsettes i Norge.

OBS: Et CE-merke er ikke det samme som et kvalitetsstempel og er ingen garanti for at norske krav er oppfylt. Det er ingenting som heter "CE-godkjent" eller CE-sertifisert". Det er frivillig hvilke ytelser som deklarerer i CE-merking og ytelseserklæring. Det medfører noen ganger at CE-merking ikke deklarerer de ytelser man trenger kunnskap om for å vurdere bruk av en byggevarer opp mot byggt teknisk forskrift (TEK17).

Dokumentasjon av vesentlige egenskaper:

Utdrag fra DOK § 10:

Første ledd: Byggevarer som ikke er CE-merket skal ha slike egenskaper som, når byggevaren er forsvarlig benyttet, medvirker til at byggverk tilfredsstiller grunnleggende krav til:

- a) Mekanisk motstandsevne og stabilitet
- b) Brannsikkerhet
- c) Hygiene, helse og miljø
- d) Sikkerhet og tilgjengelighet ved bruk
- e) Vern mot støy
- f) Energiøkonomisering og varmeisolering
- g) Bærekraftig bruk av naturressurser

Annet ledd: Vesentlige egenskaper skal dokumenteres i den grad de er nødvendig for vurdering av byggevarens egnethet til bruk i byggverk. Minst én egenskap skal alltid dokumenteres.

Tredje ledd: Vesentlige egenskaper skal dokumenteres i henhold til en tilfredsstillende teknisk spesifisering. Det skal benyttes relevante beregnings-, prøvings- eller klassifiseringsstandarder.

Veiledning til tredje ledd: ... En tilfredsstillende teknisk spesifisering for ikke CE-merkede byggevarer kan være en nasjonal standard (både norske standarder eller standarder fra andre EØS-land), en teknisk godkjenning fra et tredjepartsorgan, eller produsentens egne tekniske spesifiseringer

Mekanisk motstandsevne er en vesentlig egenskap for glassrekkverk. Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK) ber spesielt om dokumentasjon av horisontal nyttelast.

Tilfredsstillende tekniske spesifiseringer for glassrekkverk er omtalt i kapittel 2.2.

SINTEF tilbyr Teknisk Godkjenning av glassrekkverk som blant annet dekker alle krav til produktdokumentasjon, se kapittel 3.4.

System for vurdering og verifikasjon av byggevarers ytelser

Byggevarer har ulik betydning for bygninger og er derfor kategorisert i ulike systemer. Hvilke oppgaver produsenten har og hvilke en eventuell uavhengig tredjepart har for kontroll, er kategorisert ut ifra et system. Se veiledning til DOK § 12 for utfyllende forklaring.

Etter EU-kommisjonens rettsakt som er publisert i *Official Journal of the European Union* (OJ), datert 14.3.2019, er det nå **system 4** for alle typer glassrekkverk.

I system 4 er det ikke krav om bruk av uavhengig tredjepartskontroll. Produsenten har ansvar for:

- fastsettelse av produktets ytelser med typeprøving, typeberegning, tabellverdier eller deskriptiv dokumentasjon
- produksjonskontroll i fabrikk

Produsenten skal alltid ha system for produksjonskontroll i fabrikk. Produksjonskontrollen kan enten dokumenteres ved hjelp av ISO 9001 eller ved annen dokumentasjon. Et ISO 9001-sertifikat viser at bedriftens kvalitetsstyringssystem er sertifisert etter standarden for god kvalitetsstyring og er funnet å være i tråd med den. Et ISO 9001-sertifikat vil som regel anses som tilstrekkelig dokumentasjon av produksjonskontrollen dersom det dekker produsentens produksjonsområder og produksjonsprosessen med tilhørende kontrollmekanismer. Hvis produsenten velger å ikke skaffe et slikt sertifikat, må produsenten dokumentere på annen måte at de har en velfungerende produksjonskontroll.

3.3 Krav til dokumentasjon for egnethet i bruk (TEK)



Figur 6
Illustrasjon av gyldighetsområdet for byggteknisk forskrift (TEK17)

Den viktigste regelen i TEK17, § 3-1 (2):

Før produkter bygges inn i byggverk skal det dokumenteres at produktene har de egenskapene som er nødvendige for at det ferdige byggverket skal tilfredsstillere kravene i forskriften.

Forskriften med veiledning kan man lese i sin helhet her:
<https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>

Ansvarlig for egnethet i bruk:

Det er tiltakshaver og de ansvarlige foretak i byggesaken som har ansvar for å velge produkter slik at byggverket som helhet tilfredsstiller de materielle kravene i forskriften (TEK17).

Ansvarlige foretak har ansvar for dokumentasjon av egnethet i bruk.

- Prosjekterende skal spesifisere hvilke ytelser og egenskaper som er nødvendige, herunder bestemmelse av brukskategori for rekkverket.
- Den som spesifiserer/kjøper produkt, skal se til at ytelsene og egenskapene er dokumentert.

Tiltakshaver er som regel huseier (for eksempel privatperson) eller byggherre i større byggeprosjekter.

Ansvarlige foretak kan for eksempel være totalleverandør av rekkverk (produksjon og montering), entreprenører, glassmestere eller byggmestere med ansvarsrett.

NB: Dersom du bestiller glassrekkverk til huset ditt fra en nettbutikk, er leverandøren riktignok forpliktet til å levere dokumentasjon av produktene, men som tiltakshaver er du selv ansvarlig for at glassrekkverket egner seg der det er tenkt oppført.

Lov om håndverkertjenester m.m. for forbrukere (håndverkertjenesteloven), § 5 (1), beskytter forbrukeren til en viss grad:

Tjenesteyteren skal utføre tjenesten fagmessig og ellers vareta forbrukerens interesser med tilbørlig omsorg. I den utstrekning forholdene tilsier det skal tjenesteyteren veglede eller samrå seg med forbrukeren.

Er glassrekkverket egnet i bruk?

Vurderinger:

- Sikre mot gjennomfall i tilstrekkelig høyde (stivhet, sikkerhetsglass, innfesting)
- Tåle klimatiske forhold og dimensjonerende laster (stivhet, nedfall fra byggverk)
- Klatresikkert (maks størrelse på åpninger)
- Generell sikkerhet (synlighet, ikke skarpe kanter)
- Eventuell håndløper (grep, plassering, luminanskontrast, endeavslutning, ikke invitere til hensetning av for eksempel glass som kan falle ned)
- Bestandighet (råte/korrosjon, gummilister/pakninger)
- (Miljøegenskaper? Miljøgifter, utlekking, emisjoner, avfallshåndtering)
- (Brann? Skille mellom balkonger)

Se også utvalgte krav fra TEK17 i Tabell 1 i kapittel 2.1.

Krav til dokumentasjonen

Dokumentasjonen skal være på norsk, svensk eller dansk. Dokumentasjonen skal foreligge i tiltaket (i henhold til SAK § 5-5 e).

Dokumentasjon for oppfyllelse av krav

TEK17 § 2-3: Dokumentasjon for oppfyllelse av ytelser. Produksjonsunderlag:

Det skal dokumenteres at de prosjekterte løsningene og produktspesifikasjonene oppfyller de fastsatte ytelsene.

TEK17 § 2-4: Dokumentasjon av utførelsen:

Det skal dokumenteres at utførelsen og valgte produkter er i samsvar med produksjonsunderlaget.

Dokumentasjon for forvaltning, drift og vedlikehold (FDV-dokumentasjon)

TEK 17 § 4-1:

- (1) Ansvarlig prosjekterende og ansvarlig utførende skal, innenfor sitt ansvarsområde, framlegge den nødvendige dokumentasjonen for ansvarlig søker. Dokumentasjonen skal gi grunnlag for hvordan igangsetting, forvaltning, drift og vedlikehold av byggverket, tekniske installasjoner og anlegg skal utføres på en tilfredsstillende måte.

Dokumentasjonen skal foreligge ved ferdigattest. FDV-dokumentasjon skal være på norsk eller et annet skandinavisk språk. All FDV-dokumentasjon som utarbeides, må være i overensstemmelse med byggverket slik det faktisk er utført ved overlevering til eier. Ansvarlig søker skal påse at denne dokumentasjonen er samordnet og overlevert til eier, mot kvittering.

Dokumenter som vanligvis må foreligge som grunnlag for overføring til et FDV-system, er gitt i veiledningen til TEK14 § 4-1 (1).

For en boligbygning vil det vanligvis være behov for enklere FDV-dokumentasjon som omfatter:

- dokumentasjon av produkter og overflater som skal rengjøres og vedlikeholdes
- betjening og servicebehov for tekniske installasjoner
- anvisninger for bruk av boligen

(2) I tilfeller der slik dokumentasjon åpenbart er overflødig, bortfaller kravet.

For små og enkle tiltak, hvor det er begrenset behov for formalisert vedlikehold og ettersyn, bortfaller kravet om FDV-dokumentasjon.

Eksempler på tiltak hvor kravet bortfaller kan være mindre garasjer, naust, uthus og lignende mindre og enkle tiltak.

3.4 Teknisk godkjenning



Figur 7
Illustrasjon av gyldighetsområdet for en teknisk godkjenning

SINTEF Teknisk Godkjenning (TG) er en frivillig godkjenningsordning som oppfyller alle krav i DOK, og delvis krav i TEK, kap. 3 (dekker for eksempel ikke innfesting, som må prosjekteres spesifikt). Se også Figur 7. SINTEF TG for glassrekkverk er en ganske nyetablert ordning, og foreløpig omfatter denne et svært begrenset antall produkter.

Mer informasjon fins her: <https://www.sintefcertification.no/PortalPage/Index/56>

SINTEF har utarbeidet retningslinjer for teknisk godkjenning av glassrekkverk som omfatter blant annet innledende prøving, sikkerhet i bruk, vurdering av bestandighet og overvåkende produksjonskontroll.

Retningslinjene kan leses her: <https://www.sintefcertification.no/file/index/4950>

Noen fordeler med teknisk godkjenning (TG) av glassrekkverk:

- TG gjør det lettere for produsent/importør av glassrekkverk å vise at produktet har god kvalitet.
- TG gjør det lettere for kundene å velge glassrekkverk med god kvalitet.
- TG-dokumentasjon overføres automatisk til NOBB.

3.5 Tilsyn

Tilsynsmyndigheten for produktdokumentasjon (DOK) er Direktoratet for byggkvalitet. DiBK gjennomfører generelt tilsyn med produktdokumentasjon for byggevarer i henhold til kravene i byggevareforskriften (DOK).

Det fins to typer tilsyn;

- Proaktivt, som betyr planlagt tilsyn, gjerne i samarbeid med bransjen
- Reaktivt tilsyn, som er basert på tips

Målgrupper for tilsynet er produsenter, importører, og distributører av byggevarer og produkter.

DiBK kan be om all dokumentasjon som er nødvendig for å vurdere om produktet samsvarer med regelverket. Det inkluderer teknisk dokumentasjon, sertifisering og produktdokumentasjon.

Som et resultat av tilsynet kan DiBK pålegge ulike sanksjoner med eller uten tvangsmulkt og gi overtredelsesgebyr. Sanksjonene kan for eksempel være pålegg om å rette avvik, stanse markedsføring og omsetning eller trekke tilbake varer fra markedet.

Tilsynsmyndighet for konkrete byggesaker (TEK17) er kommunen.

Kommunen har ansvar for tilsyn med produktene som allerede er bygd inn i et byggverk eller levert på byggeplassen. De kan gi nødvendige reaksjoner overfor ansvarlig foretak dersom produktdokumentasjonen er mangelfull.

Kommunen kan gi pålegg om å fjerne produkter fra byggverk eller nekte å utstede ferdigattest. De kan også trekke tilbake ansvarsretten hvis et foretak har unnlatt å ivareta sin funksjon eller følge pålegg fra kommunen. DiBK bistår kommunene i vurderingen av produktdokumentasjonen.

Hvis foretaket har en sentral godkjenning, skal kommunen melde fra til DiBK (avdeling for sentral godkjenning). Foretaket kan da risikere å miste godkjenningen.

Kommunenes rolle er å føre tilsyn i konkrete byggesaker. Målgruppene for kommunens tilsyn og direktoratets tilsyn med byggevarer er forskjellige. Kommunen kan føre tilsyn med at ansvarlige foretak har oppfylt sine forpliktelser og at tiltaket er i samsvar med byggevareforskriften (DOK), byggesaksforskriften (SAK) og byggteknisk forskrift (TEK17).

Kommunenes tilsyn og direktoratets tilsyn utfyller hverandre og bidrar til at byggevarer som brukes i norske byggverk, har egenskaper dokumentert etter byggevareforskriften og har en kvalitet som medvirker til at byggteknisk forskrift er oppfylt. Hvem som fører tilsyn i de enkelte sakene, er derfor avhengig av hvor problemet med produktet ligger.

Gjennomførte tilsyn på glassrekkverk

DiBK startet et dokumenttilsyn på glassrekkverk i 2018.

Ved slike dokumenttilsyn sender DiBK informasjonsbrev til de fleste aktørene i bransjen. Deretter gjør de et utvalg basert på innskutte tips og andre som de mener bør undersøkes. Disse mottar en anmodning om innsending av produktdokumentasjon. DiBKs tilsyn er rettet mot produsenter, importører og distributører.

Informasjonsbrevet for glassrekkverk ble sendt 28. juni 2018 til 75 firmaer. 10 firmaer fikk anmodningsbrev tilsendt 21. september 2018. Resultatet viser at de fleste firmaer nå har dokumentasjonen i orden.

I henhold til rettsakten (system 4) skal man ikke be om dokumentasjon på enkeltkomponenter, men for hele rekkverket.

DiBK vil i framtidige tilsyn be om følgende dokumentasjon:

- Produktdokumentasjon (dokumentasjon på egenskaper og ytelser). Særlig dokumentasjon av horisontal nyttelast for rekkverket
- Dokumentasjon av produksjonskontrollen
- Monteringsanvisning. Særlig beskrivelse av innfestingsdetaljer for denne byggevaren

Produktdokumentasjonen og monteringsanvisningen skal være på norsk, svensk eller dansk.

Dette kan anses som minstekrav til dokumentasjon for omsetting av glassrekkverk.

Ved utilstrekkelig dokumentasjon kan DiBK bruke virkemidler, eksempelvis retting eller omsetningsstans. Overtredelsesgebyr kan gis dersom produkter mangler produktdokumentasjon der dette er et krav i henhold til DOK.

4. Prøving av glassrekkverk

4.1 Relevante standarder og metoder

Per i dag fins det ikke en norsk produktstandard for glassrekkverk. For prøving av glassrekkverk må man derfor benytte andre relevante standarder og prøveretningslinjer. Tabell 5 viser de mest relevante dokumentene som foreligger.

Tabell 5
Relevante standarder og metoder for prøving av glassrekkverk

Lastforutsetninger:	
NS 3510:2015	<i>Sikkerhetsruter i byggverk – Krav til prosjektering og klasser for ulike bruksområder</i>
NS-EN 1991-1-1	<i>Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-1: Allmenne laster – Tetthet, egenvekt og nyttelaster i bygninger</i>
NS-EN 1991-1-4	<i>Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-4: Allmenne laster – Vindlaster</i>
Prøvingsstandarder:	
NS-EN 12600:2002	<i>Bygningsglass – Pendelprøving – Slagprøvingsmetode og klassifisering av plant glass</i>
NS-EN 1990	<i>Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner – Tillegg D (informativt) Dimensjonering ved prøving</i>
Prøvingsmetoder:	
SINTEF	<i>NBI – 170: Glassrekkverk – Prøving av stivhet, styrke og pendelprøving</i>
Balkongforeningen i Norden	<i>BF 2019-1: Fyllningar i räcken – Pendelprov – Motstånd mot tung stöt – Krav för provning och godkännande</i>

4.2 SINTEFs prøveretningslinjer for glassrekkverk

SINTEFs egenutviklede metodebeskrivelser for prøving av glassrekkverk er gjengitt i sin helhet i vedlegg B.

Bakgrunn

Da SINTEF startet med prøving av glassrekkverk rundt 2008, ble forgjengeren til NS 3510 – NS 3510.E:2006 – brukt for å planlegge prøving ut fra beskrevne laster og krav. Internasjonale standarder og tekniske anvisninger fra Balkongforeningen i Norden ble også tatt i betraktning. Etter noen prøvingsprosjekter ble bransjeorganisasjonen Glass og Fasadeforeningen kontaktet for i fellesskap å bli enige om prøvemeter og krav til mekanisk prøving. I tillegg ble krav til SINTEF Teknisk Godkjenning diskutert.

Grunnlag for krav

Nyttelaster fra NS 3510:2015 er brukt som lastforutsetninger til prøvingen vi gjennomfører. Se Tabell 3, Tabell 6 og vedlegg B.

I NS 3510 er det også beskrevet maks tillatt deformasjon for glassruta på 50 mm, og mindre eller lik $l/20$, hvor l er minste spennlengde. Dette kan betraktes som krav til glassets stivhet. Det samme kravet til stivhet er satt for glassrekkverket i sin helhet i SINTEFs prøveretningslinjer.

Til sammenlikning var kravet i forrige versjon av NS 3510 25 mm ved 0,5 kN/m for brukskategori A. *Tekniske anvisninger for kvalitetssikring av balkonger og innglassinger* (Balkongforeningen i Norden, 2013) sier at 30 mm maks deformasjon kan tjene som standardverdi ved aktuell linjelast.

Basert på en rekke laboratorieprøvinger, befaringer og feltprøving har SINTEF erfart at 50 mm utbøying ved brukslast er en hensiktsmessig grense for at glassrekkverk skal inneha tilstrekkelig stivhet og oppleves som trygt – enten det er rekkverk med selvbærende glass eller rekkverk bestående av stolper med glass som innfyllingselement.

I SINTEFs prøveretningslinjer er krav til styrke ved statiske laster definert som at brudd ikke skal oppstå ved belastning under $1,5 \times$ nyttelast. Bruddlast er definert som den ultimate oppnådde lasten eller last ved >200 mm deformasjon. Ved større deformasjoner enn dette anser vi ikke lenger rekkverket som tilstrekkelig intakt og sikkert. Fordi lastretningen er konstant i prøvingen, vil også belastningen bestå av økende grad av strekk ved store deformasjoner. Sikkerhetsfaktoren for brudd på 1,5 er basert på Eurokodene og anses som konservativ i de aller fleste tilfeller.

Dynamiske laster eller støtlaster på glassrekkverk er ikke nevnt i NS 3510. Standarden henviser til klassifisering av glasset, som prøves for dynamisk last etter NS-EN 12600:2002. Balkongföreningen i Norden beskriver en prøvemethode for dynamisk prøving med pendel basert på EN 12600. I flere europeiske land og i USA er dynamisk prøving av glassrekkverk beskrevet. Det er sekk eller pendel med gummihjul som brukes ved prøvingen. Se vedlegg A. SINTEF anser dette som en relevant prøvemethode og har derfor tatt den i bruk. Pendelprøvingen er blant annet godt egnet for å prøve innfestingen av glasset i rekkverket.

Det er ikke krav om pendelprøving av glassrekkverk i Norge. For en SINTEF Teknisk Godkjenning, som er en frivillig godkjenningsordning, er derimot bestått pendelprøving nødvendig. Se også kapittel 3.4 og vedlegg B.

Laboratorieprøving hos SINTEF

Ved hver forespørsel om mekanisk prøving av glassrekkverk prøver vi å minimere prøveomfanget for å minimere kostnadene ved prøvingen. Vi vurderer nødvendig prøving ut fra hvordan glassrekkverket ser ut. Vanligvis gjennomfører vi prøving på en oppstilling av glassrekkverket med bredde rundt 1 m. Prøveoppstillingen bør representere den minst gunstige konfigurasjonen som glassrekkverket kan levers med. For et stolpebasert rekkverk prøves linjelasten separat på stolpen.

Ulike produktmodeller og ulike utgaver av det samme glassrekkverket, som toppmontert og forkantmontert, må normalt prøves og vurderes individuelt.

Prøving med belastning på glasset skal gjennomføres i fire parallelle prøvinger. Ved prøving på stolper og håndløper i metall skal det gjennomføres tre parallelle prøvinger.

Ved prøving festes glassrekkverket eller rekkverksstolpen i en kraftig og stiv prøvejigg av betong eller stål med festemidler definert av oppdragsgiver. Innfestingen i underlaget og rekkverkets oppførsel i sammenheng med andre festemidler og underlag er derfor ikke omfattet av prøvingen.

Tabell 6 viser en oversikt over hvilke egenskaper som prøves, metoder og krav ut fra brukskategori og høydeforskjell fra gulv til underliggende nivå.

For de aller fleste glassrekkverk gjennomføres det to typer mekanisk prøving:

- støtmotstand (pendelprøving)
- horisontal linjelast

Tabell 6

Egenskaper, metoder og krav for glassrekkverk ut fra brukskategori og høyde fra underliggende nivå.

Tabellen er hentet fra Retningslinjer for SINTEF Teknisk Godkjenning

Egenskap	Metode/ referanse	Høyde fra gulv/terreng	Enhet	Kategori bygningsareal (iht. NS-EN 1991-1-1, tabell 6.1)			
				A	B og C1	C2-C4 & D	C5
Støtmotstand, krav til fall- høyde ¹	NS-EN 12600 og NS 3510	$h_n \leq 0,5$	m	3(B)3 ¹ el. 1(C)3 ¹	2(B)2 ¹ el. 1(C)2 ¹	2(B)2 ¹ el. 1(C)2 ¹	1(B)1 ¹ el. 1(C)1 ¹
		$h_n > 0,5$	m	2(B)2 ^{1,2} 1,0 ⁷	2(B)2 ¹ 1,0 ⁷	2(B)2 ¹ 1,5 ⁷	1(B)1 ¹ 3,0 ⁷
Horisontal linje- last på hånd- løper (Nytte- last) ³	NS 3510, tabell B.1	–	kN/m				
Jevnt fordelt last på glass ⁵	NS-EN 3510, tabell B.1	–	kN/m ²	(1,0) ⁴	(1,0) ⁴	1,5	3,0
Punktlast på glass ⁶	NS-EN 3510, tabell B.1	–	kN	(0,25) ⁴	(0,25) ⁴	(0,25) ⁴	(0,5) ⁴

- 1) Fallhøydeklassene 3, 2 og 1 tilsvarer henholdsvis fallhøyder på 190, 450 og 1 200 mm. Akseptkriteriet defineres som at alle fire prøvene skal kunne ta opp energien fra pendelen midt i glassruta fra 450 mm fallhøyde eller mer. Glassruta kan gå i stykker, men skal ikke falle ut av rekkverket.
- 2) I kategori bygningsareal A er det 3(B)3 som er kravet, det vil si fallhøyde 190 mm. SINTEF, Glass og Fasadeforeningen og Balkongforeningen i Norden har likevel satt opp fallhøyde på 450 mm som krav til minste oppnådde kapasitet.
- 3) Lasten angriper i overkant av rekkverket eller maks 1,2 m over gulvet.
- 4) Normalt ikke nødvendig å prøve – støtmotstand er dimensjonerende.
- 5) Jevnt fordelt sekundærlast har angrepspunkt fra gulvnivå til største høyde 1 200 mm over gulvet.
- 6) Punktlast sekundærlast har angrepspunkt midt i glassruta og største høyde 1 000 mm fra gulvet, og fordeles over en flate på 100 mm x 100 mm.
- 7) Ved oppgitt last kontrolleres maks deformasjon mot 50 mm og mindre eller lik $l/20$, hvor l er minste spennlengde. Deretter prøves glassrekkverket til brudd eller >200 mm deformasjon. Oppnådd bruddlast skal være mer enn 1,5 multiplisert med nyttelasten.

Feltprøving

SINTEF gjør også befaring og prøving av glassrekkverk som er montert i bygninger. Prøvingen utføres da med eget feltprøvingsutstyr som er tilpasset det aktuelle rekkverket.

Det er i første rekke glassrekkverkets stivhet som kan prøves og vurderes på plass. Rekkverket belastes da med en jevnt fordelt linjelast over hele rekkverkets lengde, eller i jevnt fordelte punkter etter superposisjonsprinsippet, og kraft og deformasjon leses av ved hjelp av måleinstrumenter. For å begrense varige deformasjoner og skader, og unngå farlige situasjoner der det er tvil om rekkverket faktisk innehar tilstrekkelig kapasitet, prøves som regel rekkverket opp til en viss andel av nyttelasten. Deformasjon ved full nyttelast estimeres deretter ved ekstrapolering av kraft- og deformasjonskurven.

Pendelprøving og bruddlastprøving er av praktiske og sikkerhetsmessige årsaker ikke hensiktsmessig å utføre i felt. I tilfeller hvor bruddstyrke og kapasitet mot støtmotstand skal bestemmes, bør enten rekkverket demonteres og tas med til laboratoriet eller man kan utføre prøving på et representativt prøveoppsett med tilsvarende produkter. Prøveobjektene må ikke monteres tilbake i bygningen etter prøving.

Ellers utføres feltprøvingen på det samme grunnlaget som ved laboratorieprøving, gitt i Tabell 6 og vedlegg B.



Figur 8
Eksempel på feltprøving av glassrekkverksstolpe montert til parapet. Stolpen hadde på forhånd bestått laboratorieprøving, men trekonstruksjonen den var festet i var ikke tilstrekkelig dimensjonert for den horisontale linjelasten. På bildet er lasten ca. 1,0 kN og deformasjonen ca. 95 mm. Foto: SINTEF

5. Drøfting av glassrekkverk og innfesting

I dette kapitlet drøfter vi betydningsfulle variabler for glassrekkverk, og resultatene fra laboratorieprøvingene i vedlegg C.

5.1 Bruksområder og dimensjonerende laster

Prøveresultatene og anbefalingene gjelder for bruksområde A, B og C1 (boliger m.m.) med dimensjonerende linjelast på 1,0 kN/m i bruksgrensetilstand.

For bruksområde C2, C3, C4 og D med dimensjonerende linjelast på 1,5 kN/m anbefaler vi på generelt grunnlag betong eller stål som underlag for glassrekkverk.

I dette prosjektet er det prøvd ut innfestinger i 48 mm x 148 mm og 48 mm x 198 mm standard bjelkelag. Bjelkene i seg selv kan overføre store laster. Men ved høyere linjelaster må rekkverk ha innfestinger som gir lengre momentarmer og tilsvarende lavere punktlaster enn det standard innfestinger gjør.

For bruksområde C5 (for eksempel bygg for offentlig bruk, konsert- og idrettstribuner) med linjelast 3,0 kN/m skal det uansett prosjekteres spesielt. Ved bruk av treverk som underlag for glassrekkverk må man være veldig nøye med materialvalg og prosjektering, og ta særskilte hensyn til miljøet det skal stå i. Vi har ikke klart å finne egnede festesystemer og produkter for innfesting med tilstrekkelig kapasitet. Vi ser det som krevende å få til tilfredsstillende løsninger for disse lastene.

Slike rekkverk bør fortrinnsvis festes i tilstrekkelig dimensjonerte betong- eller stålkonstruksjoner.

5.2 Typer av glassrekkverk

I stolpebaserte rekkverk med glass som innfyllingselement er det stolpene og innfestingen av disse som skal ta opp alle lastene på rekkverket. I glassrekkverk med selvbærende glass i bunnprofiler festet til underlaget er det oftest tettere mellom innfestingspunktene enn avstanden mellom stolpene i stolpebaserte rekkverk. Det gir i utgangspunktet mindre belastning per innfestingspunkt og kan på det grunnlaget sies å være gunstigere for montering i treverk. Likevel krever det en gunstig utforming av grensesnittet mot underlaget og gunstig plassering av skruer, noe som ofte er lettere å få til på en stolpe. Se drøfting nedenfor. I tillegg krever selvbærende glassrekkverk tykkere og mer kostbare glass for å oppnå tilsvarende stivhet og styrke som stolpebasert rekkverk.

I mange tilfeller vil det være gunstig å bruke forkantmonterte glassrekkverk på konstruksjoner av tre fordi man av praktiske årsaker ofte kan benytte større fotplater og oppnå lengre momentarmer for innfestingsskruene enn for toppmonterte rekkverk. Det reduserer uttrekkskreftene i skruene og inntrykningen av underlaget. Det er viktig å huske på at effekten av rekkverket normalt må gjøres høyere i et forkantmontert rekkverk enn i et toppmontert, fordi innfestingen i forkanten er plassert lavere enn gulvet. Forkantmontert glassrekkverk stiller også andre krav til den bakenforliggende konstruksjonen. Se drøfting av dette lengre ned.

Boltinnfestet glassrekkverk er alltid forkantmontert. Slike rekkverk er ikke prøvd eller omhandlet spesifikt i denne rapporten, men prinsippene for innfesting vil i hovedsak følge prinsippene for et stolpebasert, frontmontert glassrekkverk, hvor avstanden mellom boltene tilsvarer avstanden mellom stolpene. Boltinnfestet glassrekkverk skal i tillegg følge prinsippene og minimumsverdiene for utforming av innfestingen slik det er vist i NS 3510:2015.

5.3 Rekkverkets høyde og avstand mellom stolpene

Prøvingene er utført med rekkverkhøyde på ca. 1 m over gulvnivå. I noen tilfeller vil det være aktuelt med høyere glassrekkverk, for eksempel hvis nivåforskjellen til underliggende plan er

over 10 m. Selv om linjelasten skal påføres maks 1,2 m over gulvet, kan rekkverkets totale høyde være mye større dersom det for eksempel er dekkforkantmontert og gulvet er bygd opp over innfestingspunktet. Det vil gi redusert bruddlastkapasitet og større deformasjoner enn prøveresultatene viser.

Bruddlastkapasiteten vil mest sannsynlig reduseres omtrent proporsjonalt med den økte høyden fordi momentarmen til innfestingspunktet øker.

Det kan være vanskelig å forutsi i hvilken grad en økning av stolpelengden (høyden) vil påvirke utbøyingen under en last. Utbøyingen er en sum av at:

- a) selve stolpeprofilen bøyer seg
- b) fotplata setter seg mot underlaget
- c) underlaget beveger seg

For a) utbøyingen av selve stolpeprofilen, gjelder formelen:

Formel for nedbøyning av punktbelastet, fast innspenn bjelke med fri ende:

$$\delta = \frac{Pl^3}{3EI}$$

der:

- P = kraft
- E = Elastisitetsmodul
- I = Annet arealmoment for stolpeprofilen
- δ = nedbøyning
- l = effektiv lengde, målt fra skruerinnfesting til pålastingspunkt

Eksempel

Test 4 viste en deformasjon på 9,1 mm ved 1,2 kN belastning i høyde 1 000 mm. Hvis man forutsetter at stolpens stivhet, EI , er konstant, vil deformasjonen ved samme last i høyde 1 200 mm bli:

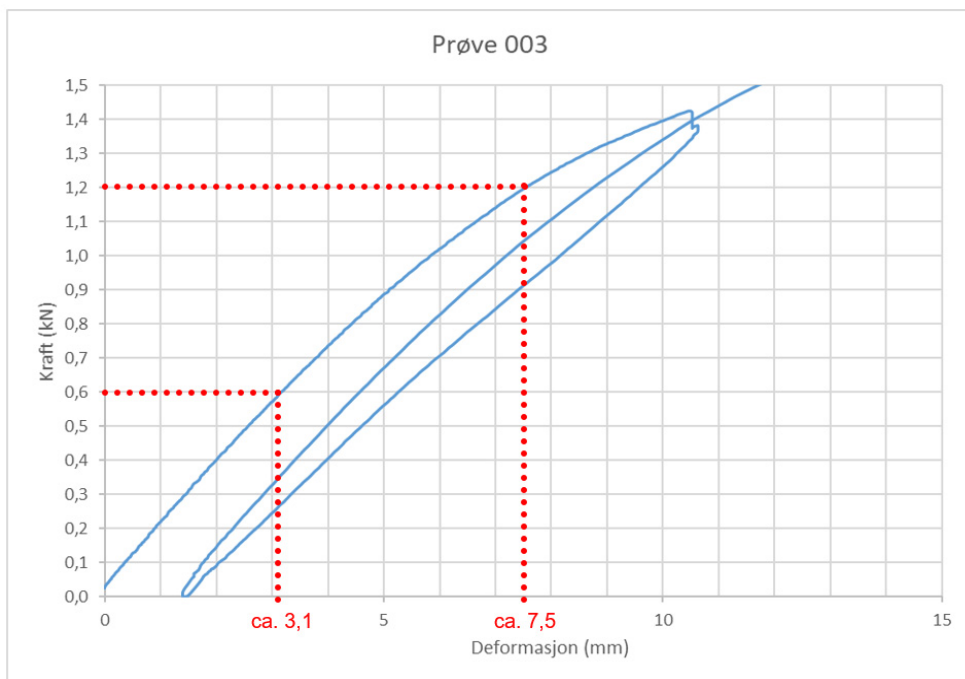
$$\delta_2 = \frac{\delta_1 l_2^3}{l_1^3} \Rightarrow \delta_2 = \frac{9,1 \times 1200^3}{1000^3} = \mathbf{15,7 \text{ mm}}$$

En økning av rekkverkshøyden på 20 % gir altså 73 % økning av deformasjonen i toppen. Denne beregningen gjelder for selve stolpeprofilen, forutsatt at vi er i det lineære området for profilen.

Deformasjonene b) og c) er noenlunde lineære så lenge vi er innenfor trykkstyrken til treverket og uttrekkskapasiteten for skruene. Deformasjonene vil da øke proporsjonalt med rekkverks-høyden. Men konstruksjonene som er prøvd her, med en last på 1,0 kN/m, kommer inn i det ulineære området. Da vil for eksempel en 20 % økning i last gi en større økning i utbøyning, se Figur 9.

Avstanden mellom rekkverksstolpene bestemmer hvor stor last hver enkelt stolpe skal ta opp av linjelasten. Kortere avstand mellom stolpene gir lavere last, som øker kapasiteten og reduserer deformasjonene. Ved 1,0 kN/m linjelast skal for eksempel hver stolpe ta opp 1,2 kN dersom avstanden mellom stolpene er 1,2 m. Ved å halvere avstanden til 0,6 m vil også belastningen i hver stolpe halveres til 0,6 kN.

Kraft- og deformasjonskurvene er sjelden helt proporsjonale eller lineære, så en halvering av avstanden kan ofte gi under halvparten så store deformasjoner i toppen av rekkverket. Se eksempel i Figur 9.



Figur 9
Kraft- og deformasjonskurve fra test 3. Stiplet linje viser at deformasjonen er mer enn halvert ved halv last.

Dersom man opplever for store deformasjoner eller for dårlig bruddlastkapasitet, kan mange stolpebaserte glassrekkverk ha stor effekt av å gå ned på senteravstanden mellom stolpene. Likeledes vil en økning av avstanden mellom stolpene gi enda større deformasjoner og redusert kapasitet.

For glassrekkverk med selvbærende glass og bunnprofiler eller boltefester er det avstanden mellom innfestingspunktene som er av betydning.

5.4 Rekkverkets egen stivhet og styrke

Prøvestolpene som ble benyttet i disse laboratorieprøvingene, er kraftig overdimensjonerte og kan betraktes som tilnærmet helt stive innenfor de brukslastene som ble prøvd. I virkeligheten vil alle glassrekkverk i seg selv ha en begrenset stivhet og bruddstyrke, uavhengig av innfesting og konstruksjonen det er festet i. Glassrekkverkets kapasitet, med representative dimensjoner og bestanddeler for slik det er tenkt benyttet, må i alle tilfeller gjøres kjent ved hjelp av beregninger og/eller prøving før innfesting og underlagskonstruksjonen kan vurderes. Dette er vesentlige egenskaper som uansett skal dokumenteres i henhold til lovverket.

SINTEF har de siste årene utført felt- og laboratorieprøving av en rekke glassrekkverk som fins på markedet. Resultatene viser at de aller fleste glassrekkverk som har bestått kravene til stivhet og styrke, har deformasjoner fra 35 til 50 mm ved brukslast. Da er rekkverkene prøvd for typiske høyder og stolpeavstander, og stivt innfestet i stål eller betong. Det tilsier at deformasjoner som skyldes innfestingen og underlaget, må holdes til et minimum for at total deformasjon i toppen av det monterte rekkverket ikke skal overstige 50 mm. Prøvingsresultatene i denne rapporten viser at man må regne med et betydelig bidrag til deformasjonen fra underlaget ved innfesting i treverk.

Prøvningsresultatene viser at bruddstyrken i mange tilfeller kan være akseptabel, selv om stivheten er for dårlig. Konstruksjoner av sammenskrudd treverk har ofte seige brudd, det vil si at de oppnår store deformasjoner før sammenbrudd. Bruddstyrken er det som har størst betydning for sikkerheten til et glassrekkverk.

Tidligere prøvinger av eksisterende produkter har vist at rekkverksstolper og bunnprofiler av aluminium oftere har lav stivhet og bruddstyrke enn liknende produkter av stål. Det tyder på feil eller utilstrekkelig dimensjonering av produktene. Aluminium har ca. 1/3 av E-modulen sammenliknet med stål. Dette er det ofte ikke kompensert tilstrekkelig for i dimensjoneringen. Lokal materialflyt kan også oppstå ved relativt lave laster, slik at permanent deformasjon etter brukslast kan bli uakseptabel, selv om stivhet og bruddstyrke ved prøving er tilfredsstillende. For montering av glassrekkverk med bærende komponenter av aluminium i treverk bør man ha ekstra god kontroll på rekkverkets mekaniske egenskaper.

5.5 Samvirke mellom stolper og håndløper

Med samvirke mener vi strukturelt bidrag til stivhet og styrke fra samvirke mellom stolper eller bærende glass og fastholdt håndløper. I tillegg *kan* torsjonsstivheten for konstruktivt glass gi et bidrag ved fastholding i et endepunkt. Ettersom glassrekkverket skal dimensjoneres for en horisontal linjelast som fordeles over hele rekkverkets bredde, vil håndløperen kun bidra dersom den er fastholdt i en eller begge ender. Håndløperen må være kontinuerlig utført og ha en betydelig stivhet, og rekkverksstrekket må ha begrenset lengde. Se eksempler under. I tillegg må innfestingen av håndløperen ha tilstrekkelig kapasitet for brudd.

Hvis man prosjekterer et glassrekkverk som er avhengig av samvirket i konstruksjonen, må hele konstruksjonen fortrinnsvis beregnes eller analyseres (FEM-analyse) og/eller prøves.

Rekkverkssystemer bør i utgangspunktet konstrueres slik at de ikke er avhengige av samvirke, for å sikre at de har tilstrekkelig kapasitet, uavhengig av rekkverkets lengde. Dette er også slik vi resonnerer og prøver ved godkjenninger av glassrekkverk. Se kapittel 6.

Laboratorieprøvingene i denne rapporten tar ikke hensyn til eventuelt samvirke i rekkverkskonstruksjonen. Fordi innfesting i treverk har vist seg å være utfordrende, spesielt med hensyn til deformasjoner, kan man med fordel forsøke å utnytte strukturelle bidrag – for eksempel ved å benytte en stiv, kontinuerlig håndløper som er festet i fasaden eller sammenkoblet i hjørnene, samt begrense lengden på rekkverksstrekkene. I så tilfelle må man kontrollere og dokumentere glassrekkverkets totale kapasitet.

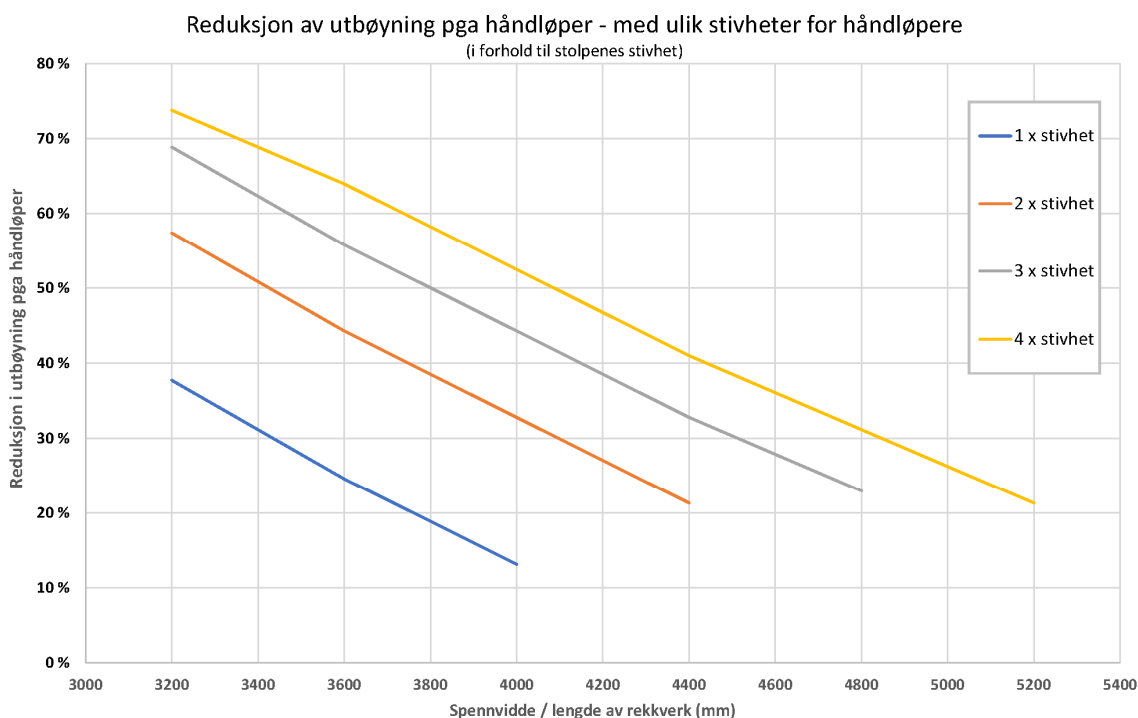
Vi anbefaler uansett å benytte håndløper eller toppliste over laminert glass for å motvirke delaminering og algevekst i lamineringssjiktet.

Håndløperens bidrag til rekkverkets stivhet

Figur 10 viser et teoretisk beregnet bidrag fra håndløper, med ulike stivheter for håndløperen i forhold til stolpens stivhet. Bak figuren ligger det forenklete beregninger av separat utbøying av stolper og en håndløper som er momentfritt innfestet i begge ender og fordelt over fire fakk, det vil si tre stolper.

Eksempel 1: Et rekkverksstrekk på 4 m, bestående av tre stolper og en kontinuerlig håndløper festet i begge ender. Dersom håndløperen er like stiv som stolpen med hensyn til horisontal linjelast, vil reduksjonen i største utbøying av rekkverket på midten være ca. 12 % sammenliknet med stolper uten håndløper.

Eksempel 2: Et rekkverksstrekk på i overkant av 5 m, bestående av tre stolper og en kontinuerlig håndløper festet i begge ender. Selv om håndløperen er dobbelt så stiv som stolpen med hensyn til horisontal linjelast, kan man ikke regne med at håndløperen bidrar til redusert utbøying på midten av rekkverket.



Figur 10
Teoretisk beregning av bidrag til stivhet fra håndløper på et stolpebasert rekkverk

5.6 Utforming av fester og plassering av skruer

Treverk har vesentlig lavere trykkfasthet i overflaten og generelt dårligere uttrekkskapasitet for festemidler enn betong eller stål. Ved montering i treverk er det derfor spesielt viktig å begrense uttrekkskreftene i monteringsskruene og trykkreftene mot underlaget. Det kan blant annet gjøres ved å:

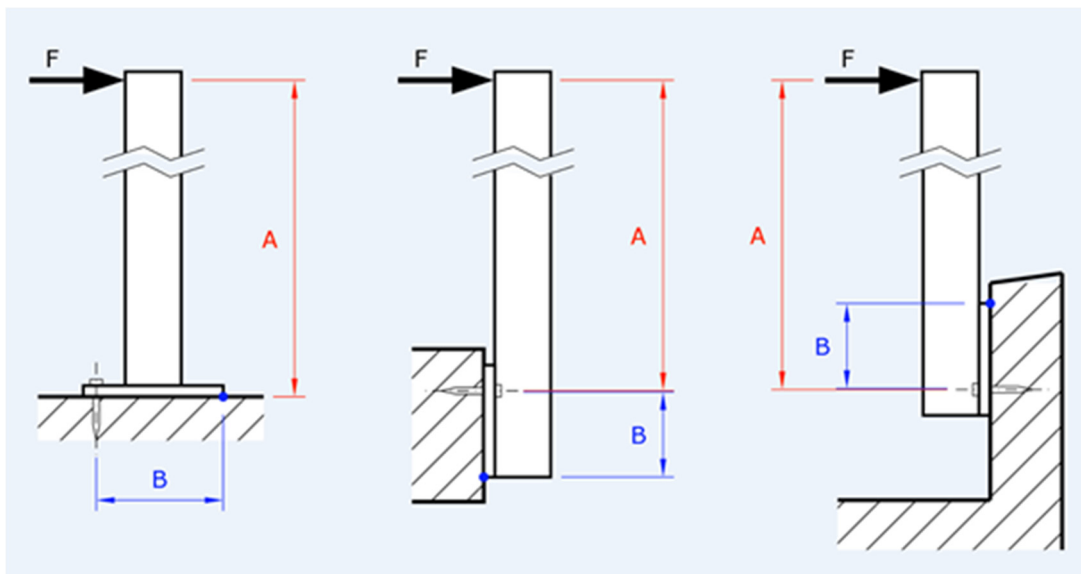
- bruke flere skruer
- bruke større trykkfordelingsplater
- gjøre armen fra lasten til innfestings- eller rotasjonspunktet så kort som mulig
- gjøre armen fra strekkbelastet innfestingsskrue til rotasjonspunktet så lang som mulig

Rotasjonspunktet er i de fleste tilfeller den trykkbelastede kanten av kontaktflaten mellom rekkverket og underlaget. Tenk på hvordan et brekkjern fungerer.

Høyden A er ofte gitt av betingelsene for rekkverket. Derfor er det gunstig å maksimere avstand B slik at forholdet A/B blir minst mulig. Se eksempler Figur 11.

OBS: Husk på at glassrekkverk skal ha en viss stivhet og bruddstyrke i begge retninger, for eksempel fra vind, selv om dimensjonerende last oftest er horisontal linjelast utover. Ved montering av rekkverk til innsiden av parapet vil linjelasten virke i motsatt retning enn på et forkantmontert rekkverk.

I mange av prøvingene i vedlegg C er det brukt en toppmontert stolpe med 100 mm x 100 mm fotplate med fire skruer og 80 mm avstand mellom skruene. Vi kan ikke anbefale mindre fotplater, skruavstander eller færre skruer enn dette for montering direkte på treverk.



Figur 11
Illustrasjon av rekkverksstolper. Fra venstre til høyre: toppmontert, forkantmontert og montert til innsiden av parapet. Avstanden B bør maksimeres slik at forholdet mellom A og B blir minst mulig.

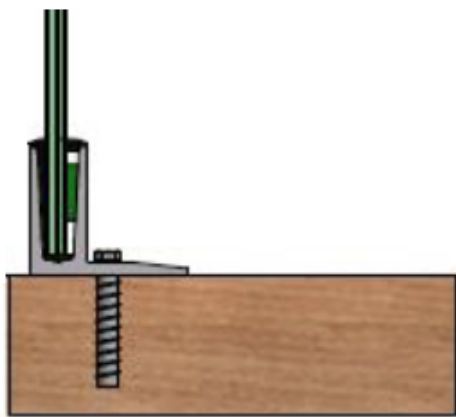
Toppmontert stolpe med bare to 10 mm x 120 mm treskruer plassert på hver side av stolpen i senterlinjen fungerer ikke. Test nr. 33, med toppmontert stolpe og 100 mm x 100 mm fotplate, viser svært store deformasjoner ved relativt lave laster, og bruddlasten er lav. Treskruene bøyes og trekkes ut, og treverket under stolpefoten knuses. Det skyldes at avstanden mellom skruer og rotasjonspunktet er for liten, ca. 50 mm.

Til sammenlikning vil en bunnprofil til selvbærende glassrekkverk oppføre seg på liknende måte dersom festeskruene er plassert langs senterlinjen. Trykkreftene vil bli bedre fordelt enn ved stolpefot, men uttrekkskreftene i skruene kan bli for store. Dette er en ganske vanlig utforming av slike profiler. Korte avstander mellom skruene vil redusere belastningen per skrue. Denne utformingen kan fungere brukbart på betong og stål, men bør ikke monteres rett på treverk. I så fall bør man bruke en større trykkfordelingsplate mot treverket, og innfesting med gjennomgående skruer eller skrudde gjengehylser og kraftige skruer.

Alternativt kan bunnprofilen ha en utforming som er bedre tilpasset montering i treverk. Se eksempel i Figur 12, hvor fotplaten og innfestingsskruer er trukket ut til siden for u-kanalen. Her har man også fordelen av å kunne etterstramme skruene etter at glasset er montert. Forkantmonterte stolper kan fungere med bare to innfestingsskruer plassert på hver sin side av stolpen. Forutsetningen er at avstanden til kanten av motholdet både under og over skruen er stor nok, og at stolpens fotplate eller stolpeklammer i seg selv har høy kapasitet og stivhet.

Test nr. 30, med forkantmontert stolpe og bare to skruer i senterlinjen av fotplata, hadde litt over 30 mm større deformasjon enn i sammenliknbar test nr. 29, med fire skruer plassert ut mot hjørnene av fotplata. I test nr. 30 var avstanden mellom skruene og nedre kant av kontaktflaten ca. 75 mm. Avstanden burde vært litt større, samt at innfestingsskruene og fotplaten kunne vært gjort stivere for å oppnå akseptable deformasjoner i stolpen.

Det samme prinsippet for posisjonering av skruer og vertikal høyde på kontaktflaten til underlaget vil også gjelde for forkantmonterte bunnprofiler til selvbærende glassrekkverk, der alle skruene er plassert langs en horisontal linje.



Figur 12

Eksempel på bunnprofil til selv bærende glassrekkverk hvor fotplate og skrueplassering er tilpasset innfesting direkte på treverk. Illustrasjon: OnLevel

5.7 Materialkvaliteten til underlaget

Basert på prøveresultater og observasjoner gjort i laboratorieprøvingene anbefaler vi følgende:

- Underlag av treverk bør tørke før montering av glassrekkverk. Utendørs bør treverket klimatiseres under tak eller annen tildekking til det oppnår likevektsfukt, det vil si når treverkets fuktinnhold er i balanse med fukten i lufta omkring. Konstruksjonsvirke, spesielt Cu-impregnert furu, kan ha relativt høyt fuktinnhold når det er nytt. Uttrekkskapasiteten til skruer i vått treverk er vesentlig redusert i forhold til i tørt treverk. Det er også viktig å ta hensyn til at treverk krymper når det tørker: Volumet til gran og furu kan for eksempel krympe så mye som 14 % ved tørking. Det kan blant annet føre til løse forbindelser der gjennomgående skruer er benyttet. Det er uansett fornuftig å legge til rette for at slike skrueforbindelser skal kunne etterstrammes.
- Bruk limtre framfor konstruksjonsvirke som underlag for glassrekkverket dersom rekkverket skal festes i ytterkant av balkong, terrasse eller i toppen av en parapet. Konstruksjonsvirke montert på høykant i forkant av bjelkelag som underlag for rekkverksstolper gir for store deformasjoner og setninger i rekkverket. Se for eksempel prøveoppstilling K, test nr. 23 og 36, med dobbel 48 mm x 148 mm planke i forkant. Limtre er vesentlig mer torsjons- og bøyingsstivt enn konstruksjonsvirke. Uttrekkskapasitet for treskruer og trykkfasthet i overflaten viste seg også å være bedre for limtre i prøvingene.
- Terrassebord mellom toppmontert rekkverksstolpe og underliggende konstruksjon vil sannsynligvis øke deformasjoner og setninger i stolpen. Monter glassrekkverket rett på bærende konstruksjon dersom stivheten allerede er i grenseland. Terrassebord kan for eksempel tilpasses og legges rundt stolpefoten. I prøveoppstilling L viste test nr. 34 med terrassebord ca. 7 mm større deformasjon i stolpen enn ved montering rett på limtre i test nr. 35. Dette ble prøvd på et ordinært 28 mm x 120 mm Cu-impregnert terrassebord, montert på tvers av belastningsretningen som ble antatt som minst gunstig. Effekten av å bruke andre og hardere materialtyper som "Kebony" er ikke prøvd. Men sannsynligvis vil deformasjonene uansett være høyere enn ved montering rett på limtre.
- Dersom rekkverket skal festes utenpå membraner, for eksempel på en brystning eller parapet tekket med asfalpapp og beslag, må man regne med en reduksjon av rekkverkets stivhet sammenliknet med prøvde eller beregnede deformasjoner. Bruk store kontaktflater som fordeler trykkreftene og store avstander mellom rotasjonspunkt og innfesting for å bedre situasjonen. Punktering av membraner bør generelt unngås eller tettes omhyggelig for å unngå at nedbør trenger inn i gjennomføringen. Dette er ikke videre undersøkt i dette prosjektet.

5.8 Skruetyper

Basert på laboratorieprøvingene anbefaler vi på generelt grunnlag disse typene av festemidler for innfesting av glassrekkverk, med konvensjonelle stolper og fotplater, i prioritert rekkefølge:

1. Innskrudde gjengehylser i treverket og maskinskruer. Gjengehylsene må stikke litt ut fra treverkets overflate slik at hylsene kan ta opp både strekk- og trykkrefter. Gjengehylser har også fordelen av å kunne brukes til å justere rekkverksstolpen, uten behov for mellomlegg. Prøveoppstilling P og test nr. 38, med 4 stk. M22/M16x100 mm gjengehylser i limtre, ga svært gode resultater. Det ble ikke utført prøving med andre dimensjoner, men 4 stk. M10 maskinskruer og korresponderende gjengehylsestørrelse vil sannsynligvis også fungere godt. Se eksempel på gjengehylse i Figur 13.
2. Fordi uttrekkskapasiteten kan bli høy, er gjennomgående bolter generelt en god løsning dersom utformingen av underliggende konstruksjon tillater slik montering. Spesielt ved montering i konstruksjonsvirke er gjennomgående bolter å anbefale framfor treskruer. Monteringen forutsetter at det benyttes store trykkfordelingsskiver mot treverket på baksiden. Alternativt kan man bruke en trykkfordelingsplate med skruehull. Ulempen kan være at forbindelsen mister forspenningen over tid på grunn av svelling/krymp i treverket eller fra vekslende laster. Man bør legge til rette for at forbindelsen kan etterstrammes. Se også prøveoppstilling S, test nr. 41 og 42 i vedlegg C og Figur 14.
3. Treskruer kan fungere, men fortrinnsvis i limtre og ikke i konstruksjonsvirke. Skruene bør ha minimum diameter 10 mm og minst 80 mm effektiv gjengelengde i limtreet. Uttrekkskraftene bør være fordelt på minst 2 skruer per rekkverksstolpe. Skruene bør ha store skruehoder og selv borende spiss. Slike skruer kalles også *konstruksjonsskruer*. Se eksempel i prøveoppstilling B i vedlegg C og Figur 15. Vi anbefaler ikke galvaniserte "franske treskruer" fordi de ofte har dårlige gjenger og stor sprengvirkning, og uttrekkskapasiteten blir usikker.



Figur 13
Gjengehylse for treverk



Figur 14
Gjennomgående bolt



Figur 15
Treskrue med stort hode
Foto: Sørbo Industribeslag

5.9 Mellomlegg

Mellomlegg, ofte kalt "shims", benyttes tradisjonelt under fotplatene for å justere rekkverksstolpen slik at den blir stående i lodd. Justering av stolpene er viktig både av estetiske hensyn og for å unngå spenninger i glasset. Typiske mellomleggsskiver av stål i varierende størrelse, plassert mellom fotplate og treverk, vil gi konsentrerte trykkrefter mot treverkets overflate. Fordi treverk har begrenset overflatehardhet, kan det føre til at skivene trykkes ned i treverket ved belastning mot rekkverket. Skrueforbindelsen kan bli slarkete og rekkverket skjevt. For å unngå dette kan man for eksempel benytte en trykkfordelingsplate mellom treverket og mellomleggsskivene eller benytte innskrudd gjengehylser.

Det er ikke uvanlig at forkantmonterte, selvbærende glassrekkverk monteres med mellomleggsplater mellom dekkeforkant og bunnprofil – for justering av ujevnheter og for drenering av vann på dekket. Se eksempel i Figur 22. I så fall er det viktig at disse mellomleggene er tilnærmet like høye som profilet og er tilstrekkelig brede for fordeling av trykkreftene mot treverket. Mellomleggene bør plasseres i skrueforbindelsene med gjennomgående hull så de ikke kan flytte på seg eller falle ned. Da fungerer systemet prinsipielt på samme måte som en forkantmontert stolpe med fotplate, der linjelasten fordeles på hvert innfestingspunkt avhengig av avstanden imellom. Det vanligste er å benytte kun én skrue per innfestingspunkt for slike forkantmonterte profiler. Derfor er det ekstra viktig at kontaktflaten, skrueposisjonen og skruekapasiteten er tilstrekkelig dimensjonert. Se også kapittel 5.6.

Boltinnfestet glassrekkverk har gjerne mindre kontaktflater mot underlaget enn andre forkantmonterte glassrekkverkstyper. Oftest er glasset montert med hylser rundt boltene, som avstandsstykke mellom dekkeforkant og glasspakninger. Det er viktig å passe på at kontaktflaten mot treverket er stor nok til å fordele trykkreftene og unngå inntrykking i overflaten. Det kan være fornuftig å bruke større mellomleggsskiver eller trykkfordelingsplater mot treverket.

Utfordringer og løsninger for mellomlegg er ikke prøvd ut i dette prosjektet.



Figur 16
Eksempel på forkantmontert, selvbærende glassrekkverk. Her er det benyttet mellomleggsplater av aluminium mellom bunnprofilet og forkantbjelken, indikert med røde piler. De øvrige konstruksjonsdetaljene er ikke representative for anbefalingene i denne rapporten. Foto: SINTEF

5.10 Utforming av underlagskonstruksjonen

Ofte er det sammenføyningene i treverkskonstruksjonens knutepunkter som er mest kritisk for glassrekkverkets kapasitet. Det hjelper ikke at rekkverket er godt skrudd fast dersom bjelken det er festet i løsner fra resten av konstruksjonen.

I noen tilfeller gir innfesting i treverk og treverkskonstruksjoner seige brudd. Bruddlasten kan være relativt høy, men deformasjonene blir for store. Det vil si at styrken kan være ivaretatt, men ikke stivheten. I andre tilfeller kan både styrken og stivheten være akseptabel og dermed oppfylle forskriftsmessige krav, men likevel oppstår synlige setninger etter avlastning. Det kan gi skjeve og løse rekkverk. Det er heller ikke ønskelig.

Prøveoppstilling A, D og E viser eksempler på antatt typiske konstruksjoner bestående av konstruksjonsvirke skrudd sammen med konvensjonelle treskruer. Prøvingene viser at innfestingen av rekkverksstolpen har større kapasitet enn knutepunktene og treverket den er festet i. Treskruene trekkes ut av eller gjennom plankene, endevend og overflater får trykkbrudd, og materialene vrir seg. Det fører til betydelige deformasjoner i stolpen og varige setninger allerede ved lave laster.

Balkonger med bjelkelag av tre og liknende konstruksjoner

Dette er balkonger bestående av utkraget bjelkelag, eller terrasser bestående av underliggende tilfarere, der rekkverket skal festes i trekonstruksjonen. Eksempler på dette er utkraget trebalkong eller takterrasse med luftet gulv, der man ikke ønsker å punktere membran i taket.

NB: Innfesting i tilstrekkelig dimensjonert betong eller stål er nesten alltid bedre enn innfesting i treverk. For balkonger med bærende konstruksjon av stål eller betong, og med tremmegulv av tre, anbefaler vi alltid å montere glassrekkverket i dekkforkanten eller oppå det underliggende dekket av betong eller stål, ikke i tremmegulvet.

Toppmontert glassrekkverk

For toppmontert glassrekkverk anbefaler vi å plassere rekkverket litt inn fra ytterkanten av bjelkelaget eller tilfarerne. Da har man mulighet til å bygge en konstruksjon som gir gunstige momentarmer til innfestingen av rekkverket.

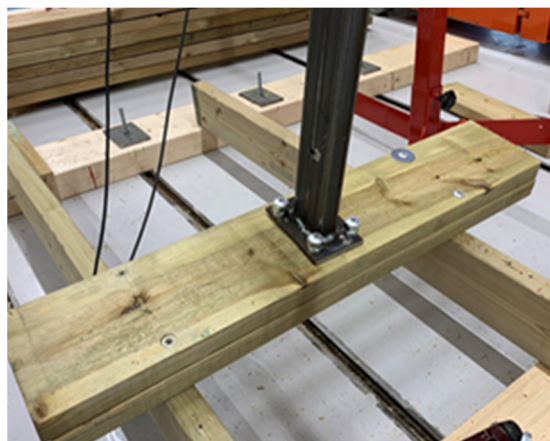
Prøveoppstilling S i vedlegg C beskriver en anbefalt løsning som fungerer godt. Se også Figur 20. Konstruksjonen er basert på 48 mm x 198 mm konstruksjonsvirke og 8 mm x 120 mm treskruer med stort hode. Vi har ikke prøvd andre material- eller skruedimensjoner. For glassrekkverk på sidene av balkongen eller terrassen, parallelt med bjelkelaget eller tilfarerne, kan løsningen bygges på tilsvarende måte ved å skru dobbel 48 mm x 198 mm planke inn direkte mellom bjelkene.

En annen anbefalt løsning som kan oppfattes som mindre komplisert, men som gir litt større deformasjoner, er beskrevet i prøveoppstilling G, test nr. 13 i vedlegg C, og vist i Figur 21. Plankene til innfesting av rekkverket kan felles ned i bjelkene. Dette er ikke prøvd, men vi antar at resultatene ville blitt omtrent de samme. For denne løsningen må man benytte dobbel 48 mm x 198 mm konstruksjonsvirke eller limtre som underlag for rekkverket, og treskruer med minimum diameter 8 mm og lengde 170 mm, samt 50 mm skiver eller større.

For montering av glassrekkverk parallelt med bjelkelaget må den doble underlagsplanken til rekkverket avstives med tverrbjelker skrudd inn mellom bjelkene, med tilsvarende senteravstand som bjelkelaget.



Figur 17
Velfungerende løsning for toppmontert stolpe til trebjelkelag. Se vedlegg C, prøveoppstilling S for detaljer



Figur 18
Alternativ løsning for toppmontert stolpe, trukket inn på trebjelkelag, for eksempel takterrasse med tilfarergulv. Plankene kan felles ned i bjelkene. Se vedlegg C, prøveoppstilling G for detaljer

Forkantmontert og toppmontert glassrekkverk i ytterkant

For forkantmontert glassrekkverk og toppmontert rekkverk plassert i ytterkanten av trekonstruksjonen anbefaler vi å benytte limtre som underlag for rekkverket. I laboratorieprøvingene klarte vi ikke å oppnå tilstrekkelig stivhet ved bruk av konstruksjonsvirke som innfestingsgrunnlag montert i forkant av bjelkelaget, selv ikke med limt og sammenskrudd, dobbel 48 mm x 148 mm planke.

Limtre drageren bør ha dimensjoner som både passer til rekkverksinnfestingen og bjelkene den skal monteres mot, i tillegg til å ha tilstrekkelig kapasitet for de aktuelle lastene. I prøvingene ble det for eksempel benyttet limtre med tverrsnitt 115 mm x 150 mm til en toppmontert rekkverksstolpe med 100 mm x 100 mm fotplate og bjelkelag bestående av 48 mm x 148 mm planker.

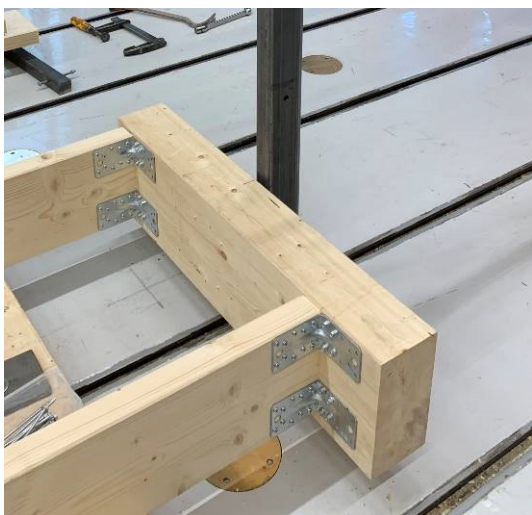
Beslag i knutepunktene

Hvis glassrekkverket skal festes i forkantbjelken (fortrinnsvis limtre) i enden av bjelkelaget, må man forsterke og avstive knutepunktene mellom forkanten og bjelkelaget med solide beslag. Til laboratorieprøvingene fant vi ikke beslag på markedet som er helt optimale for formålet. For eksempel ble det gjort forsøk med konvensjonelle bjelkesko, men disse er først og fremst utformet for vertikale krefter. Momentbelastningen fra rekkverksstolpen ga for store deformasjoner. Se prøveoppstilling C i vedlegg C.

Den beste løsningen – med utgangspunkt i 48 mm x 148 mm bjelkelag og beslag som er tilgjengelige i de fleste byggevarehus – var forsterkede vinkelbeslag montert øverst og nederst til alle bjelkene og limtreet. Beslagene ble skrudd til limtreet med 6 mm x 120 mm treskruer og 5 mm x 40 mm beslagskruer i siden av bjelkene. Se blant annet prøveoppstilling I, test nr. 29 i vedlegg C.

Med denne løsningen viste fortsatt prøveresultatene en deformasjon på 28 mm i stolpen ved brukslast. Det vil si at de fleste glassrekkverkene på markedet sannsynligvis ikke ville klart kravet om maks 50 mm deformasjon. Tilsvarende prøving med bjelkelag av 48 mm x 198 mm planker ga noe bedre resultater, ca. 21 mm deformasjon, fordi momentarmene blir gunstigere. Se prøveoppstilling H, test nr. 18 og Figur 19. Vi ser et stort potensial for bedre beslagsløsninger til dette formålet.

For glassrekkverk montert på sidene av balkongen eller terrassen, parallelt med bjelkelaget eller tilfarerne, bør den ytterste bjelken være limtre tilsvarende som den i forkant. Kubbing av 48 mm x 148 mm eller 48 mm x 198 mm planker på høykant kan plasseres med tilsvarende c/c-avstand som bjelkelaget inn mot neste bjelke og festes til limtrebjelken med beslag som beskrevet over.



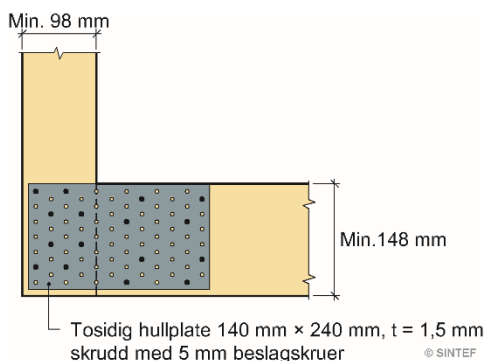
Figur 19

Den beste løsningen som ble funnet i dette prosjektet for forkantmontert rekkverk til trebjelkelag, er limtre og kraftige vinkelbeslag i knutepunktene. Det fins fortsatt et potensial for mer optimaliserte beslagsløsninger til dette formålet. Se vedlegg C, prøveoppstilling H for detaljer.

Det kan være fordelaktig å montere glassrekkverksstolper direkte på bjelkene eller tilfarerne. Eksemplet fra Byggforskserien (SINTEF, 2018), med trestolpe festet i enden av en bjelke med hullplater på begge sider, viste seg å ha tilfredsstillende stivhet, styrke og setninger dersom avstanden mellom stolpene begrenses til 0,8 m. Se prøveoppstilling R i vedlegg B og Figur 20. Rekkverksstolper av metall festet til bjelkene på liknende måte med spesialtilpassede stolpebeslag kunne sannsynligvis fungert bra. Vi har ikke funnet slike produkter i markedet.

Bruk av hullplater krever relativt mye skruing. I dette eksemplet er det benyttet 32 beslagskruer per stolpe. Mange beslagskruer har den fordelen at kreftene blir godt fordelt og beslaget låses helt i en posisjon. Få, men større skruer kan teoretisk oppnå den samme skjærkapasiteten, men på grunn av klaringer i skruenhullene kan forbindelsen likevel få små, uønskede bevegelser. Dette kan eventuelt kompenseres for med større beslag, som gir lange momentarmer.

En ulempe med denne løsningen er at posisjoneringen og avstanden mellom rekkverksstolpene er gitt av bjelkelaget. Det kan oppleves som lite fleksibelt og ugunstig med hensyn til glasstørrelser etc., spesielt dersom konstruksjonen ikke er tilpasset rekkverkets ønskede utforming på forhånd.



Figur 20

Eksempel på innfesting av trestolpe til bjelke med hullplate. Bruk beslagskruer $5,0 \times 35$ eller $5,0 \times 40$ eller kammede beslagspikre $4,0 \times 40$ eller $4,0 \times 50$. Skruene eller spikrene må plasseres forskjøvet for hverandre på hver side. Alternativt forskyves plata 20 mm på den ene siden.

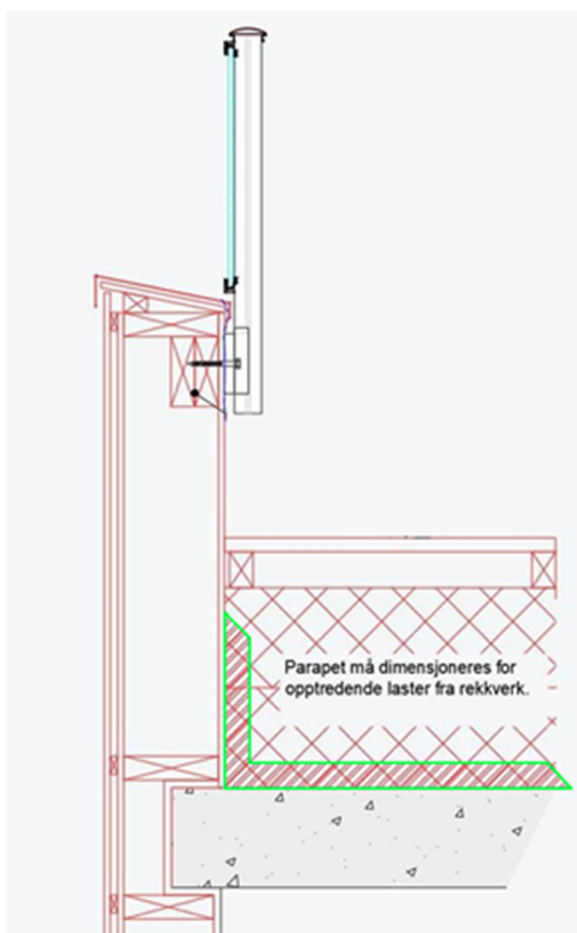
Kilde: Figur 52 og figurtekst fra Byggforskserien 536.112 *Rekkverk* (SINTEF, 2018)

Parapetkonstruksjoner

Parapet er takkanten som stikker opp mellom flate tak og fasader, men blir ofte feilaktig kalt for gesims. Parapeter eller brystninger som er tiltenkt for montering av glassrekkverk, må prosjekteres for formålet og bør fortrinnsvis bygges i betong eller stål, eventuelt treverk med stålforsterkninger. Dersom parapeten bygges av treverk oppå et betongdekke, må man forsterke og avstive parapetens stendere med kraftige stålvinkler som er forankret i betongdekket. Se eksempel i Figur 22. Parapeten kan alternativt bygges som en forlengelse av fasaden med stendere som stikker opp på utsiden av dekket. Vi anbefaler stendere av minimum 48 mm x 198 mm konstruksjonsvirke i begge tilfellene.

Ellers følger montering av glassrekkverk til parapet de samme prinsippene som for bjelkelag beskrevet over. De vertikale stenderne tilsvarer de horisontale bjelkene. Man må også huske på at brukslinjelasten mot rekkverket virker utover når rekkverket er festet til innsiden av parapeten.

Husk også å ta hensyn til montering utenpå eventuelle membraner og beslag, som kan gi redusert stivhet i forbindelsen. Sørg også for å sikre utsatte perforeringer mot vanngjennomtrenging med egnet tettemasse.



Figur 21

Parapet av treverk som bygges oppå betongdekker, bør forsterkes med kraftige stålvinkler, her vist med grønt omriss, som forankres til betongdekket og parapetens stendere. Illustrasjon: Sagstuen/SINTEF

5.11 Praktiske hensyn ved montering

Erfaringer fra laboratorieprøvingen:

- Beslagsløsninger, for eksempel som beskrevet i prøveoppstilling H i vedlegg C, krever mange skruer. I dette eksemplet ble det brukt 28 skruer per bjelkeforbindelse. Det kan nok av mange oppfattes som tidkrevende og ugunstig ved montering av mange og lange glassrekkverk.
- Løsninger som krever stor monteringsnøyaktighet og som stiller høye toleransekrav til utgangspunktet for å fungere, bør unngås. Prøveoppstilling Q i vedlegg C viser et eksempel på dette. Disse beslagene er utviklet for massivtrekonstruksjoner der limtrebjelker blir nøyaktig bearbeidet med CNC-maskiner. Beslagene krever svært nøyaktig plassering på begge sider for i det hele tatt å passe sammen. Løsningen forutsetter også at alle bjelkene er kappet helt vinkelrett og er nøyaktig like lange. Det vil nok det sjelden være tilfelle på en eksisterende trekonstruksjon bygd for hånd. Montering til flere enn to bjelker samtidig vil sannsynligvis ikke være mulig i praksis.
- Man bør også unngå løsninger der eventuelle små feil i monteringsutførelsen gir vesentlig redusert kapasitet som ikke kan rettes opp igjen uten store konsekvenser. Da er det stor sjanse for at feilen blir ignorert, og glassrekkverket kan få dårligere innfesting enn det som er forventet og dokumentert: for eksempel beslagsløsninger med få skruer, der skruerhullene er bestemt av beslaget og uten alternative hull, og beslagets posisjon ikke kan endres. Det er fort gjort å overtrekke treskruer og beslagskruer, spesielt med dagens kraftige batteridrevne skrumaskiner.
- Det er viktig at rekkverksstolper og bunnprofiler til glassrekkverk monteres i lodd, både av estetiske og praktiske hensyn, samt for å unngå spenninger i glasset. Derfor bør man sørge for at konstruksjonen rekkverket skal festes i, er mest mulig plant og i vater, og ellers nøyaktig utført. Man bør forsøke å begrense bruk av mellomlegg for å kompensere for skjevheter. Se også kapittel 5.9 om mellomlegg og kapittel 5.8 om innskrudd gjengehyller.

5.12 Hensyn til korrosjon

Hensyn til korrosjon ved innfesting av glassrekkverk er ikke prøvd eller videre undersøkt i dette prosjektet.

Anvisning 536.112 *Rekkverk* i Byggforskserien (SINTEF, 2018) sier følgende om utførelse av rekkverk i aluminium og stål:

Aluminium som skal støpes eller mures inn, må grunnes med sinkkromatmaling og dekkmales for ikke å korrodere. I tillegg bør man stryke kontaktflatene med en asfalt-, gummi- eller plastkomposisjon, fri for syrer og alkalier. Skal aluminium festes til stål eller annet metall, eller direkte til CU-impregnert trevirke eller til betong, må man bruke mellomleggsskiver av rustfritt- eller forsinket stål, neopren eller PVC.

Stålprofiler av vanlige standardkvaliteter er lite korrosjonsbestandige og må beskyttes. Profiler som skal settes sammen ved hjelp av bolter, nagler og skruer, varmforsinkes hvis de skal stå ute. Hull til bolter eller skruefester må bores før korrosjonsbehandlingen for å unngå angrepspunkter for rust. Ved bearbeiding av konstruksjonen før montering må man vurdere korrosjonsforholdene med hensyn til valg av festemidler. Profiler som skal sveises sammen, korrosjonsbehandles etter sammensveisingen.

Ved bruk av forsinket stål må man være forsiktig med overflaten. Skadet varmforsinking gjør at stålet korroderer ved utendørs bruk.

Se også Byggforskserien 571.404 *Metaller til bygningsbruk. Bruksformål og prosjektering* (SINTEF, 2013) og Balkongforeningen i Norden, *Tekniske anvisninger for kvalitetssikring av balkonger og innglassinger* (Balkongforeningen i Norden, 2013) for kombinasjon av ulike metaller.

6. Anbefalinger for innfesting i treverk

Det er vanskelig å gi preaksepterte løsninger for den beste monteringen av glassrekkverk til treverk fordi det avhenger av en rekke variabler, blant annet:

- bruksområde og tilhørende dimensjonerende laster
- type glassrekkverk
- rekkverkets høyde, og avstand mellom stolpene ved stolpebasert rekkverk
- rekkverkets egen stivhet og styrke
- grad av samvirke i rekkverkskonstruksjonen
- utformingen av rekkverkets grensesnitt mot underlaget og posisjonering av festemidler
- type festemidler
- materialkvaliteten til underlaget
- utforming av konstruksjonen som rekkverket skal festes i

I dette kapitlet har vi forsøkt å oppsummere noen veiledende anbefalinger og minstekrav for en del gitte situasjoner og variabler, basert på laboratorieprøvingene og erfaring – dette for at leseren skal kunne gjøre gode vurderinger og foreta trygge valg uten detaljkunnskap om alle variablene. Vi vil likevel poengtere viktigheten av at alle glassrekkverksmontasjer må prosjekteres individuelt i sammenheng med den tiltenkte bruken og konstruksjonen det skal festes i.

Med god kunnskap om disse variablene og med kontroll i form av beregninger og/eller prøving kan man oppnå gode montasjer av glassrekkverk som tilfredsstiller alle krav og retningslinjer, selv om enkelte variabler avviker fra anbefalingene i denne rapporten: Som eksempel kan nevnes at dersom fotplaten til en toppmontert stolpe gjøres vesentlig større og festeskruer flyttes lengre unna stolpen i gunstig retning, vil man potensielt kunne gå ned på skruedimensjoner. Videre: Dersom man kan dokumentere stor grad av samvirke i rekkverkskonstruksjonen, for eksempel ved korte rekkverksstrekk og med en stiv, kontinuerlig håndløper festet i begge ender, vil kapasitetsbehovet til rekkverksinnfestingen reduseres.

- Betong og stål er nesten alltid bedre enn treverk for innfesting av glassrekkverk.
- For bruksområde C2, C3, C4 og D (for eksempel teatre, ankomstområder i større bygninger, treningssentre og varehus), velg betong eller stål om mulig. Innfesting i treverk kan likevel fungere med god kunnskap og prosjektering.
- For bruksområde C5 (for eksempel bygg for offentlig bruk, konsert- og idrettsribuner) må det uansett prosjekteres spesielt og nøye. Vi ser det som krevende å få til tilfredsstillende løsninger for innfesting i treverk her.
- Avstanden mellom rekkverksstolpene bestemmer belastningen som innfestingen skal dimensjoneres for. Tettere plassering av stolpene kan være et effektivt tiltak for å bedre glassrekkverkets kapasitet.
- Vær bevisst på betydningen av glassrekkverkets høyde, spesielt ved dekkeforkantmonterte rekkverk og oppbygde gulv. Utbøyingen i toppen av rekkverket øker i større grad enn økningen av høyden.
- Kjenn glassrekkverkets egen stivhet og styrke i den konfigurasjonen det er tenkt oppført. Dette er vesentlige egenskaper som uansett skal være dokumentert for å kunne omsette produktet lovlig.
- Utnytt samvirket i glassrekkverkskonstruksjonen dersom det er mulig, for eksempel med korte rekkverksstrekk og med kontinuerlig håndløper fastholdt i endene. Men kartlegg konstruksjonens faktiske kapasitet, og ikke overvurder betydningen av en innfestet håndløper. For eksempel vil en håndløper på 5 m typisk ikke bidra til rekkverkets deformasjon på midten i nevneverdig grad.
- Glassrekkverkets utforming av innfestingsdetaljer og posisjonering av festemidler har avgjørende betydning for kapasiteten. Man bør tilstrebe store kontaktflater mot underlaget og gunstige momentarmer. Tenk at rekkverket skal fungere minst mulig som et brekkjern for festemidlene.
- Nyoppførte konstruksjoner av treverk bør tørke og/eller oppnå likevektsfukt før man monterer glassrekkverket. Trekonstruksjoner tørker også utendørs.

- Limtre er generelt bedre egnet som underlag for glassrekkverk enn konstruksjonsvirke.
- Ta ekstra forhåndsregler ved prosjektering og montering dersom glassrekkverket skal monteres utenpå membraner.
- Innskrudde gjengehylser for treverk egner seg meget godt for montering av glassrekkverk. Hylsene kan også brukes til å justere rekkverkets vinkler.
- Gjennomgående bolter for montering i treverk kan også gi god kapasitet. Men det bør være mulig å etterstramme forbindelsen.
- Treskruer med selvboende spiss og stort skruehode kan gi tilfredsstillende kapasitet for innfesting av glassrekkverk, men dette må detaljplanlegges i hvert tilfelle. Som en tommelfingerregel anbefaler vi minimum diameter 10 mm og 80 mm effektiv gjengelengde for slike treskruer, og to skruer på strekksiden for toppmonterte rekkverksstolper.
- Mellomlegg, for eksempel for justering av stolper ute av lodd, bør være store nok til å fordele trykkreftene. Små mellomleggsskiver bør ikke legges direkte mot treverkets overflate.
- For toppmontert glassrekkverk på trebalkonger med bjelkelag eller terrasser med tilfarere: Trekk rekkverket litt inn fra kanten, og forsterk konstruksjonen for innfesting av rekkverk. Eksempler på løsninger er vist i Figur 17 og Figur 18.
- For forkantmontert glassrekkverk på trebalkonger: Bruk limtre og forsterk knutepunktene med egnede beslag. Eksempel på løsning er vist i Figur 19.
- Montering av rekkverksstolper direkte til bærebjelkene kan være fordelaktig for rekkverkets kapasitet dersom det er hensiktsmessig for glassrekkverkets og trekonstruksjonens utforming.
- For parapetkonstruksjoner i tre: Sikre at parapeten er tilstrekkelig fastholdt, enten med kraftige stålvinkler til betongdekket eller kraftige stendere fra fasadekonstruksjonen som stikker opp utenfor dekket. Benytt ellers de samme utformingsprinsippene som for bjelkelag av tre. Se eksempel på løsning i Figur 21.
- -Skal aluminium festes direkte til stål, betong eller CU-impregnert treverk, må man benytte mellomlegg av rustfritt stål, neopren eller PVC. Varmforsinket stål kan benyttes, men skadet varmforsinking fører til at stålet korroderer ved utendørs bruk.

Anbefalinger for videre arbeid:

Underveis i prosjektarbeidet har vi sett potensial for videre arbeid, blant annet:

- Utvikle nye eller forbedrede beslagsløsninger
- Utforme flere og enda mer konkrete preaksepterte løsninger for innfesting
- Studere konstruksjonssamvirke, lage beregningsmodeller og/eller preaksepterte eksempler
- Lage anbefalinger for fuktsikre løsninger ved montering gjennom membraner
- Videreutvikle metoder og prøvingsutstyr for feltprøving

Referanser

Balkongföreningen i Norden (2013) *Tekniske anvisninger for kvalitetssikring av balkonger og innglassinger*. Växjö: Balkongföreningen i Norden.

Balkongföreningen i Norden (2019) *Tekniske anvisninger for kvalitetssikring av balkonger og innglassinger*. Tilgjengelig fra: https://bf.nu/tekniska_dokument/ (Hentet: 02. Oktober 2020).

BBR (2011) *Boverkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BBR*. Tilgjengelig fra: <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/> (Hentet: 26. november 2019).

BR18 (2019) *Bygningsreglementet BR18 (4/7-31/12 2019)*. Tilgjengelig fra: https://bygningsreglementet.dk/Historisk/BR18_Version4 (Hentet: 26. november 2019).

BV (2019) *Bygningsreglementets vejledninger*. Tilgjengelig fra: https://bygningsreglementet.dk/Historisk/BR18_Version4/Vejledninger/Bygningsreglementets-vejledninger/Oversigt_BR_Vejledninger (Hentet: 26. november 2019).

DOK (2010) *Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK)*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/dok/> (Hentet: 24. August 2020).

FineHomebuilding (2019) *Options for Fastening Deck Guardrails* [filmklipp]. Tilgjengelig fra: <https://www.youtube.com/watch?v=lTRquLcL6Jo> (Hentet: 14. oktober 2020).

Glass og Fasadeforeningen (2020) *Ny standard for dimensjonering av glass*. Tilgjengelig fra: <http://www.glassportal.no/2020/09/23/ny-standard-for-dimensjonering-av-glass/> (Hentet: 30. september 2020).

Kozłowski M. (2019) Experimental and numerical assessment of structural behaviour of glass balustrades subjected to soft body impact, *Composite Structures*, 229 (2019).

Miljöministeriets förordning (2017) *Miljöministeriets förordning om säkerhet vid användning av byggnader 1007/2017*. Tilgjengelig fra <https://finlex.fi/sv/laki/alkup/2017/20171007> (Hentet: 26. november 2019)

Schneider J. (2001) Impact Loading on glass panes by soft body Impact – Theoretical Analysis and experimental Verification, *In. Processing Days*, Tampere; 2001. s. 682-687.

Schuler C, Koch S, Binder M, Bucak Ö. (2005) Comparative studies to shock loads during construction project to Zoo Wuppertal, University of Applied Sciences Munich (unpublished)

Siebert, B. (2015) All glass balustrades made of glass, *IABSE Conference, Nara 2015: Elegance in Structures*. Nara, 13.-15. mai, 2015. s. 138-139.

Siebert, B. (2014) Glass balustrades and French balconies – Design and testing, *Challenging Glass 4 & COST Action TU0905 Final Conference*, Lausanne; 6.-7. Februar 2014. London: Taylor & Francis Group, s. 463-471.

SINTEF (2018) *536.112 Rekkverk*. Tilgjengelig fra: <https://www.byggforsk.no/dokument/451/rekkverk> (Hentet: 12. oktober 2020).

SINTEF (2013) *571.404 Metaller til bygningsbruk. Bruksformål og prosjektering*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/4092/metaller_til_bygningsbruk_bruksformaal_og_prosjektering (Hentet: 16. desember 2020).

Standard Norge (2015) *NS 3510:2015 Sikkerhetsruter i byggverk – Krav til prosjektering og klasser for ulike bruksområder*. Tilgjengelig fra: <https://standard.no/> (Hentet: 05. november 2015).

Standard Norge (2019) *NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2019 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-1: Egenvekt og nyttelaster*. Tilgjengelig fra: <https://standard.no/> (Hentet: 10. mai 2020).

Standard Norge (2009) *NS-EN 1991-1-4:2005/AC:2009 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-4: Vindlaster*. Tilgjengelig fra: <https://standard.no/> (Hentet: 12. februar 2018).

Standard Norge (2009) *NS-EN 1991-1-4:2005/AC:2009 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner Del 1-4: Vindlaster*. Tilgjengelig fra: <https://standard.no/> (Hentet: 12. februar 2018).

Standard Norge (2002) *NS-EN 12600:2002 Bygningsglass - Pendelprøving - Slagprøvingsmetode og klassifisering av plant glass*. Tilgjengelig fra <https://standard.no/> (Hentet: 10. oktober 2020).

Standard Norge (2011) *NS 8417:2011 Alminnelige kontraktsbestemmelser for totalunderentrepriser*. Tilgjengelig fra: <https://standard.no/> (Hentet: 04. november 2020).

TEK17 (2017) *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/> (Hentet: 24. August 2020).

VEDLEGG A Litteraturstudier

Internasjonal forskning, regler og krav

Internasjonal forskning

Det har foregått forskning på området glassrekkverk de siste årene.

Siebert (2015) har undersøkt glassrutas innfesting i glassrekkverket. Hun skriver at det ofte er nødvendig med pendelprøving av glassrekkverket for å undersøke hva som skjer med glassrekkverket etter brudd. Det er viktig at ikke glassruta faller ut av glassrekkverket ved brudd. Glassrutas oppførsel etter brudd er avhengig av flere faktorer, blant annet innfestingens utforming og hva slags laminering som brukes.

Ved studier på PVB-laminering og ionoplast-laminering viser det seg at ionoplast er veldig stivt og at det er ikke så temperaturavhengig (Siebert, 2014). Glasset er stivt ved brudd også ved bruk av termisk herdet glass.

I Tyskland må en vurdering av støt (impact) gjennomføres på glassrekkverk avhengig av glassrekkverkets utforming. Denne kan gjøres ved beregning, men grunnet utforming av rekkverket, eller hva slags laminering som brukes, kan det være nødvendig med pendelprøving. Ved ett prosjekt med glass som bærende element og hvor det ikke forelå en håndløper, var det nødvendig med bruk av ionoplast-laminering for å oppfylle de tyske standardene. Rekkverket ble da prøvd ved å først lokalt skade glasset med en stålkule, for deretter å prøve glassrekkverket med pendel med en fallhøyde på 900 mm.

Fallhøyder er avhengig av utforming på rekkverk eller glassinnervegger. De forskjellige høydene i DIN 18008-4 er:

- Kategori A: 900 mm (for glassrekkverk med frie glasskanter eller glassinnervegger uten håndløper)
- Kategori B: 700 mm (for glassrekkverk med håndløper festet til glasset, men hvor glasset er bærende element)
- Kategori C: 450 mm (for glassrekkverk med glass som utfyllingselement)

Kozłowski (2019) undersøkte pendelprøving numerisk og eksperimentelt for glassrekkverk, for å finne beregningsmodeller for dynamiske egenskaper. Slik kan pendelprøving erstattes av beregninger i flere tilfeller. Numeriske analyser sammenliknet med prøving viste at intakte glassrekkverk utsatt for pendelstøt har ganske god overenstemmelse når det gjelder deformasjon, spenninger i glasset og akselerasjon av pendelen. Lokale spenninger som ofte oppstår ved innfestinger, bør vurderes særskilt.

Schneider (2001) og Schuler, Koch, Binder & Bucak (2005) har ved måling vist at mennesker (snittvekt 80 kg) som løper inn i en glassflate, kan oppnå en energi på maks 176 J. Ved sammenlikning med en pendel som veier 50 kg, og som faller fra de beskrevne fallhøydene i EN 12600, kan den potensielle energien ved pendelprøving beregnes ved $E_p = mgh$. Ved en antakelse om $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ blir energiene som vist i tabell 7.

Tabell 7

Tabellen viser sammenlikning mellom fallhøyder fra EN 12600 og måling av maksstøt for mennesker (snitt 80 kg og hastighet 2,4 m/s) som løper inn i en glassrute.

Standard eller forutsetning	Fallhøyde (mm)	Støtenergi (J)
EN 12600	190	93
	450	220
	1 200	589
Menneske	358 ¹	176

¹ Omregnet verdi fra måling på menneske

Byggeregler i Sverige (BBR)

Boverket er kravstillende myndighet i Sverige og gir ut Boverkets byggeregler (BBR, 2011). I *föreskrift og allmänna råd, avsnitt 8:35* står det at glass skal tåle dynamisk belastning fra påvirkning av et menneske. Det er ikke angitt en størrelse på denne kraften i Boverkets byggeregler. De anbefaler å prøve for motstand mot tungt støt etter SS-EN 12600.

Der det forekommer risiko for fall gjennom glasset, det vil si der fallhøyden er mer enn 2,0 m og avstanden mellom glassrutas underkant og gulvet er mindre enn 0,6 m, skal glasset utformes slik at risikoen begrenses. Laminert sikkerhetsglass kan da fungere som beskyttelse. Glassrekkverk bør være minst 1,1 m høyt ifølge BBR 2011:6 – *föreskrifter och allmänna råd, avsnitt 8:2321*.

I BBR er det krav om at glassoverflater skal utformes slik at man begrenser risiko for kutt. Det står at man bør bruke herdet sikkerhetsglass eller laminert sikkerhetsglass. I avsnitt 8:353 foreslås det for glassrekkverk:

- termisk herdet sikkerhetsglass i henhold til SS-EN 12510-2, som minimum tåler klasse 1(C)3 i henhold til SS-EN 12600, eller
- laminert sikkerhetsglass i henhold til SS-EN 14449, som minimum tåler klasse 2(B)2 i henhold til SS-EN 12600

Herdet eller laminert sikkerhetsglass bør brukes i glassrekkverk i alle typer av bygninger.

I Sverige skal både laminert og herdet sikkerhetsglass skal være CE-merket.

Byggeregler i Danmark (BR18)

I Danske *Bygningsreglementet* (BR18, 2019) og i *Bygningsreglementets vejledning om glaspartier, glasflader og værn af glas i bygninger* (BV, 2019) står det at ved nivåforskjell mellom gulv og terreng er det behov for å etablere en sikring mot fall. Krav til høyde på rekkverk er 1,0 m.

Der sikringen består av glass, skal det kunne ta opp lasten fra personer som lener seg mot eller kolliderer mot glassoverflaten, for glass på balkonger. Sikkerhetsglass skal kunne oppta belastningen før, under og etter brudd, og må derfor ikke kunne falle ut av rammer, holdere og bolter. Glasset skal heller ikke kunne skli ut etter brudd. Ved punktinnfestet sikkerhetsglass er det nødvendig med egnet type laminert glass med tilstrekkelig styrke og stivhet etter brudd.

Det skal være tilstrekkelig sikkerhet for at det ikke oppstår kuttskader ved brudd på glasset.

Byggeregler i Finland

I *Miljöministeriets förordning om säkerhet vid användning av byggnader 1007/2017* (Miljöministeriets förordning, 2017) står det at rekkverk skal oppta de laster det utsettes for under konstruksjonens hele livslengde. Det får ikke foreligge risiko for fall, kutt eller skadelig nedfall av glassbiter ved bruk av glasskonstruksjoner.

Glasskonstruksjoner skal tåle den belastning de normalt blir utsatt for, hvis de ikke er beskyttet av en kollisjonsbeskyttelse. Glasskonstruksjoner skal være av sikkerhetsglass.

Rekkverk i Finland skal være 1,0 m meter høye opp til en fallhøyde på maks seks meter. Hvis fallhøyden er høyere, skal rekkverket være 1,2 m. På en balkong som tilhører én boenhet, er én meter høyt rekkverk tilstrekkelig uavhengig av fallhøyden. Innen i en bolig må rekkverk ha en høyde på minst 0,9 m hvis fallhøyden er under tre meter.



SINTEF

Glassrekkverk – Prøving av stivhet, styrke og pendelprøving

NBI - 170

Utkast: 13.02.2017

Revidert: 05.12.2018

Gyldig til: -

Side 1 av 5

Metode A

Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverksstolper

Metode B

Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverk med glass som bærende element

Metode C

Pendelprøving av glassrekkverk

1. INNLEDNING

Nedenfor er det angitt metoder for å måle stivhet, styrke og pendelprøving for rekkverk av glass som utfyllingselement og bærende element.

Metode A gir stivhet og styrke på rekkverksstolpe ved prøving med pålastning av statisk last og samtidig registrering av deformasjon. Stolpe prøves til bestemte laster og deformasjon registreres der. Deretter bestemmes styrken ved å pålaste til brudd oppstår eller til maks deformasjon 200 mm.

Metode B gir stivhet og styrke på glassrekkverket ved prøving med pålastning av statisk last og samtidig registrering av deformasjon. Rekkverket prøves til bestemte laster og deformasjon registreres der. Deretter bestemmes styrken ved å pålaste til brudd oppstår eller til maks deformasjon 200 mm.

Metode C prøver støtegenskapene til glassrekkverket.

2. BRUKSOMRÅDE

Metode A egner seg for rekkverk med glass med vertikale rekkverksstolper

Metode B egner seg for rekkverk med glass som bærende element.

Metode C egner seg for rekkverk med glass som bærende element og som utfyllingselement.

Tabell 1 Kategori bygningsareal med eksempler på bruksområder i henhold til NS-EN 1991-1-1:2002+NA:2008.

Kategori	Spesifikk bruk	Eksempel
A	Arealer for inneaktiviteter og hjemmeaktiviteter	Rom i boligbygg og hus; sengerom og behandlingsrom i sykehus; soverom i hoteller og gjestgiverier; kjøkken og toaletter.
B	Kontorarealer	
C	Arealer der personer kan samles (med unntak av arealer som er definert i kategori A, B og D ¹⁾)	C1: Areal med bord osv., f.eks. i skoler, kafeer, restauranter, spisesaler, leserom resepsjoner osv. C2: Arealer med faste seter, f.eks arealer i kirker, teatre eller kinosaler, konferanserom, forelesningssaler, forsamlingsaler, venterom medregnet forhall på jernbanestasjoner osv. C3: Arealer uten hindrenger for personer i bevegelse, f.eks. arealer i museer, utstillingsrom osv., og ankomstområder i offentlige bygg og administrasjonsbygg, hoteller, sykehus, jernbanestasjonshaller. C4: Arealer med mulighet for fysisk aktivitet, f.eks. dansesaler, gymnastikkrom, scener osv. C5: Arealer som lett overfylles, f.eks. i bygg for offentlig bruk, som konsertsaler, idrettshaller medregnet treibuner og atkomstområder og jernbaneperronger.
D	Forretningsarealer	D1: Arealer i vanlig detaljhandel D2: Arealer i varehus

Metode A

Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverksstolper

Metode B

Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverk med glass som bærende element

Metode C

Pendelprøving av glassrekkverk

4. DEFINISJON

Metode A og B

Stivheten for rekkverket angis i mm. Beregningsforutsetninger i NS 3510 angir maks tillatt deformasjon til 50 mm ved laster bestemt ut fra bruksområde, se også tabell 2.

Metode C

Definisjon av støtmotstand er basert på NS-EN 12600:2003. Kravet er at rekkverket oftest minimum skal klare 2(B)2. Akseptkriteriet defineres som at alle fire prøvene skal kunne ta opp energien fra pendelen midt i glassruten fra 450 mm fallhøyde eller mer. Glassruten kan gå i stykker, men skal ikke falle ut av rekkverket.

Hvor rekkverket skal brukes der høydeforskjell mellom terreng og gulv er $\leq 0,5$ m kan 3(B)3 aksepteres dvs. fallhøyde 190 mm.

5. PRØVEPRINSIPP

Metode A og B

Prinsippet for metoden er at deformasjon måles ved gitte lasttilfeller basert på tiltenkt bruksområde for rekkverksstolper

6. APPARATUR

Metode A

- Universalprøvemaskin med utstyrsnummer: MO-5567
- Jigg for innfesting av rekkverksstolper med utstyrsnummer: MO-6032, (fig. 1)

Metode B

- Rigg for glassrekkverksprøving med utstyrsnummer: MO-6033 (fig. 2)
- Aktuator med utstyrsnummer: MO-5974
- Leddet lastpåføringsbjelke utstyrsnummer: MO-6034 (fig. 3)

Metode C

- Pendel for pendelprøving med utstyrsnummer MO-6035 (fig. 4-6)

Tabell 2

Egenskaper, metoder og krav for glassrekkverk ut i fra kategori bygningsareal og høyde fra gulv til glassrute.

Egenskap	Enh et	Kategori bygningsareal (Iht. NS-EN 1991-1-1 tabell 6.1)			
		A	B og C1	C2 - C4 & D	C5
Horisontal linjelast på håndløper (Nyttelast)	kN/ m	q _k	q _k	q _k	q _k
		1,0	1,0	1,5	3,0
Støtmotst and Krav til fallhøyde. (**)	-	2(B)2 ***	2(B)2	2(B)2	1(B)1

*) Lasten angriper i overkant av rekkverket eller maksimalt 1,2 m over gulvet.

**) Fallhøydeklassene 3, 2 og 1 tilsvarer henholdsvis fallhøyder på 190, 450 og 1200 mm. 2(B)2 tilsvarer bestått støtprøving fra 450 mm høyde, herdet laminert glass

***) Hvor rekkverket skal brukes der høydeforskjell mellom terreng og gulv er $\leq 0,5$ m kan 3(B)3 aksepteres dvs. fallhøyde 190 mm.

3. REFERANSER

NS-EN 1991-1-1:2002 Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-1: Allmenne laster – Tetthet, egenvekt og nyttelast i bygninger

NS 3510:2015 Sikkerhetsruter i byggverk - Krav til prosjektering og klasser for ulike bruksområder

NS-EN 12600:2002 Bygningsglass – Pendelprøving – Slagprøvningsmetode og klassifisering av plant glass

Tekniske anvisninger – for kvalitetssikring av balkonger og innglassinger Balkong foreningen i Norden 2013

Metode A
Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverksstolper
Metode B
Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverk med glass som bærende element
Metode C
Pendelprøving av glassrekkverk
7. PRØVER

Høyde rekkverk minimum 0,9 m over gulv/dekke for ramper og trapper. Minimum 1,0 m høyde for balkonger, tribuner, passasjer. Der høydeforskjeller er >10 m skal rekkverket være minimum 1,2 m.

Metode A

Til prøving kreves minimum 3 prøver av en gitt produkt.

Metode B

Til prøving kreves minimum 4 prøver av en gitt produkt.

Metode C

Til prøving kreves minimum 4 prøver av en gitt produkt.

8. PRØVING

Temperatur ved prøving skal være innenfor $20 \pm 5^\circ$ C. Prøver skal kondisjoneres i dette klimaet i minimum 12 timer før prøving.

Metode A

Ved prøving festes rekkverksstolpe til jigg (fig. 1) etter beskrivelse til produsent/leverandør. I utgangspunktet bør leverandør/produsent være tilstede for å montere selv eller beskrive hvordan stolpen skal monteres.

Pålastningshastighet skal være 25 mm/min og lastvarighet skal være > 5 sek for hvert lasttrinn. Før prøving avklares og beregnes laster utefra senteravstand på stolper og andre forutsetninger.

Eksempel:

Bruksområde kontor, gir kategori B og horisontal linjelast 1,0 kN/m.

Høyde under 10 m gir høyde minimum 1,0 m på rekkverket

Senteravstand 1,0 m

Partialfaktor for last settes til 1,0 ved alle tilfelle

$$q_k \times s \times \psi = F_p$$

hvor

q_k = Linjelast se tabell 2

s = Senteravstand mellom stolper

ψ = Partialfaktor

F_p = Last ved prøving

Dette gir

$$1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 1,0 \text{ kN}$$

Ved prøving av stivhet med ovenfor gitt forutsetninger skal deformasjon kontrolleres ved 1,0 kN.

Krav til tillat deformasjon er maks 50 mm. For alle prøver.

Deretter belastes prøven videre til 1,5 x linjelast og deretter til brudd eller maks deformasjon 200 mm for kontroll av styrke. Kravet er at brudd skal oppstå > 1,5 x linjelast. For alle prøver.

Metode B

Ved prøving festes rekkverk til rigg (fig. 2) etter beskrivelse til produsent/leverandør. I utgangspunktet bør leverandør/produsent være tilstede for å montere selv eller beskrive hvordan rekkverket skal monteres.

Pålastningshastighet skal være 25 mm/min og lastvarighet skal være 30 sek for hvert lasttrinn. Før prøving avklares og beregnes laster utefra bredde på glassfelt og andre forutsetninger.

Eksempel:

Bruksområde konferanserom, gir kategori C2 og horisontal linjelast 1,5 kN/m.

Høyde over 10 m gir høyde minimum 1,2 m på rekkverket

Bredde 0,9 m

Partialfaktor for last settes til 1,0 ved alle tilfelle

$$q_k \times s \times \psi = F_p$$

hvor

q_k = Linjelast se tabell 2

s = Bredde på glassfelt

ψ = Partialfaktor

F_p = Last ved prøving

Dette gir

$$1,5 \times 0,9 \times 1,0 = 1,35 \text{ kN}$$

Ved prøving av stivhet med ovenfor gitt forutsetninger skal deformasjon kontrolleres ved 1,35 kN.

Metode A**Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverksstolper****Metode B****Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverk med glass som bærende element****Metode C****Pendelprøving av glassrekkverk**

Krav til tillatt deformasjon er maks 50 mm. For alle prøver.

Deretter belastes prøven videre til 1,5 x linjelast og deretter til brudd eller maks deformasjon 200 mm for kontroll av styrke. Kravet er at brudd skal oppstå > 1,5 x linjelast. For alle prøver.

Metode C

Ved prøving festes rekkverk til f. eks. rekkverksproverigg (fig. 2) eller til betongbjelke etter beskrivelse til produsent/leverandør. I utgangspunktet bør leverandør/produsent være tilstede for å montere selv eller beskrive hvordan rekkverket skal monteres.

Fjern klistrelapper og beskyttelse av glasset. Hjulene til pendelen skal fylles med luft til ett trykk av $0,35 \pm 0,02$ MPa. Lufttrykket skal kontrolleres før prøving

Pendelen skal treffe midt i glassruten.

Prøving kan startes fra laveste fallhøyde 190 mm. Forutsettes det at glassruten klarer fallhøyde 450 mm kan prøvingen startes der, se (fig. 6) løft og plasser pendelen før utløsning slik at den ikke får rotasjon rundt egen aksel. Løs ut utløser og stoppe pendelen direkte etter stot. Pendelen får ikke treffe glassruten mer enn én gang. Det er bare dekket som skal treffe glassruten.

Kontroller glasset og rekkverket. Har glassruten tatt opp energien fra pendelen og ikke falt ut av rekkverket kan prøving utføres på neste fallhøyde. I denne prøvemethoden skal alle fire prøvene kunne ta opp energien fra pendelen midt i glassruten og glassruten skal ikke falle ut av rekkverket etter pendelprøving fra fallhøyde 450 mm (i noen tilfeller 190 mm, se tabell 2).

Kontroller om kiler og innfesting for øvrig har tatt skade av prøvingen.

9. RESULTATER**Metode A og B**

Rapporteres ved å oppgi deformasjon for hvert lasttrinn og bruddlast.

Metode C

Rapporteres ved å oppgi skader på prøver. I tillegg rapporteres Bestått eller Ikke Bestått prøving.

10. PRØVINGSRAPPORT

Rapporten skal inneholde:

- a) Identifikasjon av prøvelegemet
- b) Provelegemets dimensjoner
- c) Kvalitet på prøve f. eks. herdet laminert, stålkalitet, aluminium kvalitet osv.
- d) Innfestingsmetode til jigg og/eller rigg
- e) Dato for prøvingen
- f) Laster og deformasjoner ved hver enkelt lasttrinn
- g) Bestått eller Ikke bestått pendelprøving
- h) Avvik fra denne prøvemethoden
- i) Hvem som har utført prøvingen
- j) Usikkerhet ved prøving

11. USIKKERHET VED PRØVING**Metode A**

- Stivhet til jigg ble målt til 0,7 mm/kN, se Notat Måling av stivhet på prøverigg for rekkverkstolper datert 29 september 2016.
- Usikkerhet i påført kraft i universalprøvemaskin er = 1%
- Usikkerhet knyttet til hvor kraft påføres på rekkverksstolpen av avhengig av type rekkverksstolpe.

Metode B

- Last påføres i ett punkt fordelt via leddet bjelke. Dette gir større deformasjon midt i glassruten for de fleste prøveoppsett.
- Deformasjon i rigg. Dette kan kontrolleres og ved plassering av posisjongivere og trekkes i fra.
- Usikkerhet knyttet til lastpåføring ca. 1 %
- Vinkelavvik på posisjongivere er en usikkerhet

Metode C

- Vekt på pendel
- Lufttrykk i dekk
- Høyde fra senter av glassrute
- Rotasjon på pendel rundt egen aksel ved utløsning av pendel.
- Gamle dekk på pendel gir større punktlaster
- Bevegelse i innfesting ved stot.

Metode A
Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverksstolper
Metode B
Bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverk med glass som bærende element
Metode C
Pendelprøving av glassrekkverk


Fig. 1. Rekkverksjigg og universalprøvemaskin ved prøving av Metode A.

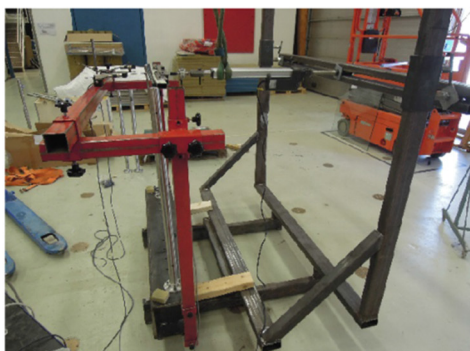


Fig. 2. Rekkverksprøverigg med aktuator og lastpåføringsbjelke ved prøving av Metode B.



Fig. 3. Leddet lastpåføringsbjelke ved prøving av Metode B.



Fig. 4. Pendel til pendelprøving av Metode C.



Fig. 5. Pendelprøving av Metode C.

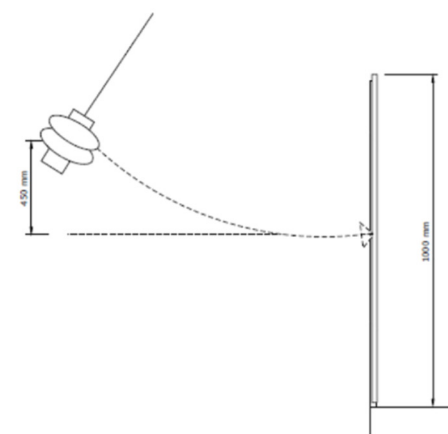


Fig. 6. Pendelprøving av Metode C.

VEDLEGG C Laboratorieprøving av innfesting i treverk

C.1 Innledning

Prøvingene er utført av Jan-Fredrik Aasheim og Dag Henning Sæther i SINTEF Communitys konstruksjonslaboratorium i Oslo i perioden februar til september 2020.

Hensikten med laboratorieprøvingene har i hovedsak vært å:

- kartlegge egenskapene til typiske konstruksjoner og løsninger som vi oppfatter ofte benyttes ved montering av glassrekkverk i treverk i dag
- finne gode løsninger, eventuelt nye løsninger, som kan gi akseptable egenskaper under gitte forutsetninger
- kartlegge viktige variabler og betydningen av disse ved prosjektering av glassrekkverksmontasjer

C.2 Forutsetninger og begrensninger

Det er mange variabler i utførelsen av glassrekkverk, innfesting og underliggende konstruksjon. Derfor har det vært nødvendig å gjøre noen representative valg for prøvingene:

- Prøving av bare stolpebasert glassrekkverk. Vi har gått ut fra at dette generelt er mer kritisk for innfestingen og underliggende konstruksjon enn selvbærende glass i kontinuerlige bunnprofiler.
- All last fra glassrekkverket skal tas opp av rekkverksstolpene, uten andre strukturelle bidrag fra for eksempel håndløper.
- Rekkverkshøyde 1 m over gulv. Forkantmontert rekkverksstolpe montert like under gulvnivå. Se spesifikasjoner av prøvestolpene under i kapittel 6.3, og beskrivelse av prøveoppstillingene i avsnitt C.6.
- c/c-avstand 1,2 m mellom rekkverksstolpene. Vi har tatt utgangspunkt i bjelkedimensjoner 48 mm x 148 mm og 48 mm x 198 mm med c/c-avstand 0,6 m og med rekkverksstolper plassert midt i annethvert fakk. Prøvingene er utført på bare én stolpe av gangen.
- Prøving av primærlast: horisontal linjelast utover som virker i overkant av rekkverket 1 m over gulv
- Sammenlikning av styrke og stivhet med prøvelast 1,0 kN/m i bruksgrensetilstand (for bruksområde A, B og C1). Linjelaen er omregnet til en punktlast på 1,2 kN ut fra forutsatt avstand mellom stolpene.
- Egenproduserte prøvestolper med svært høy styrke og stivhet. Dette er valgt for å kunne vurdere innfestinger og underliggende konstruksjoner uten påvirkning fra deformasjoner i stolpen.
- Toppmontert rekkverksstolpe med relativt liten fotplate, men representativ for svært mange kartlagte produkter på markedet. Se spesifikasjoner i kapittel 6.3.
- Et utvalg konvensjonelle skruer og beslag som kan skaffes i de fleste byggevarehus
- Ordinære dimensjoner og trekvaliteter som inngår i standardsortimentet hos de fleste trelastforhandlere

Noen viktige forhold som ikke er tatt hensyn til ved prøvingene, men som man likevel må vurdere ved prosjektering av glassrekkverk:

- Sekundærlaster (jevnt fordelt last og punktlaster mot glasset)
- Vindlast som eventuelt overstiger belastningen fra brukslinjelast eller virker i motsatt retning
- Dynamiske laster
- Utmatting fra vekslende laster, for eksempel fra vind

- Bestandighet og korrosjon, herunder endringer i treverket over tid, som svelling, krymping og kuving. Treverk er et "levende materiale" som eldes og påvirkes av endringer i miljøet rundt.

Se også drøfting av variabler i kapittel 5.

C.3 Prøveobjekter

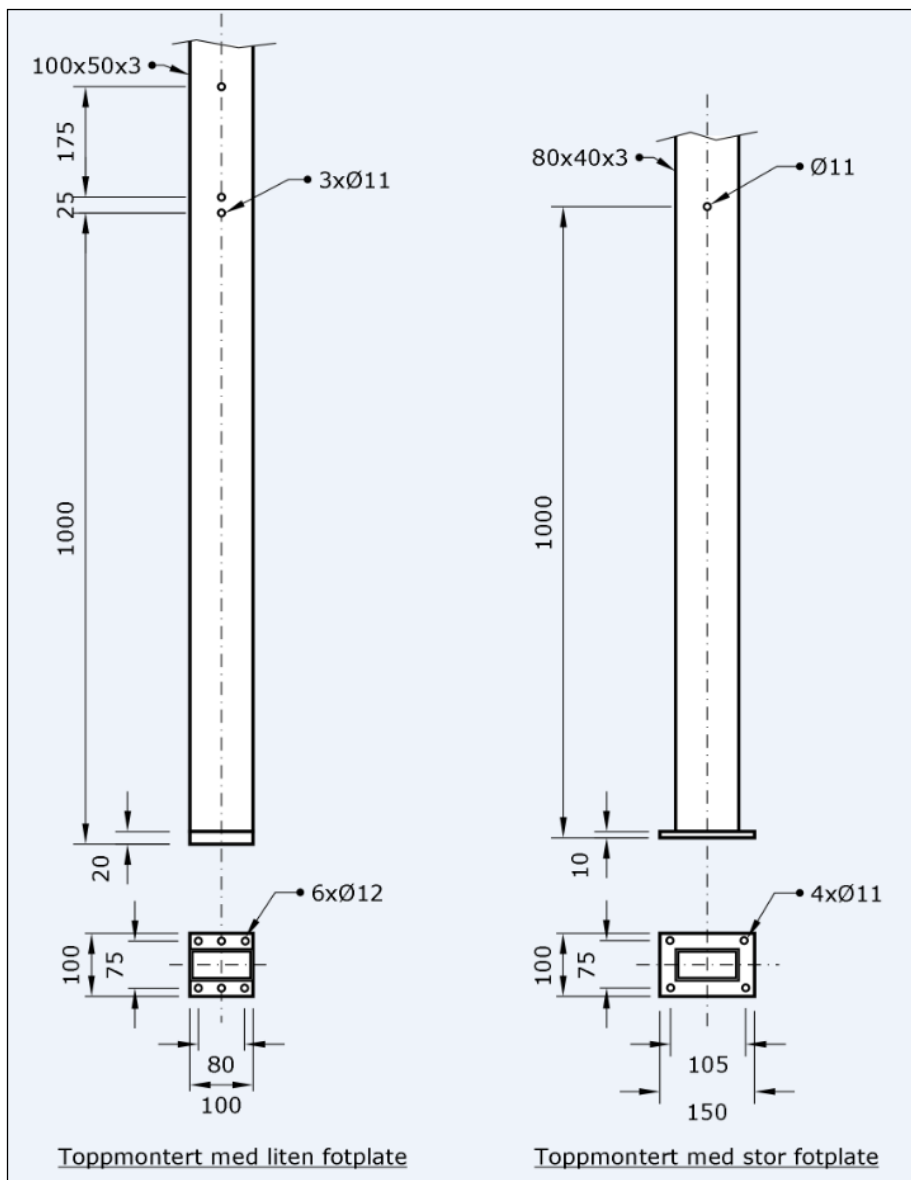
Følgende prøvestolper ble lagd til av SINTEF og benyttet i prøvingene:

Tabell 8

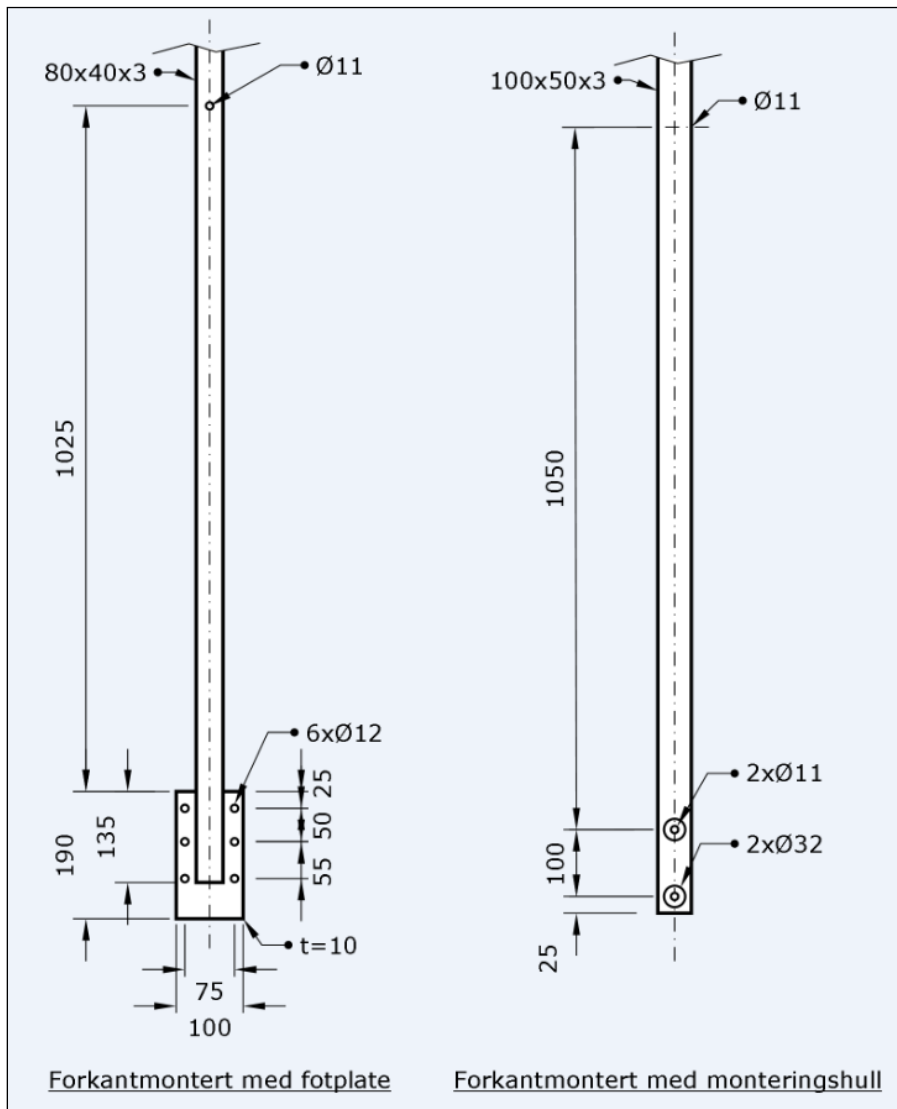
Prøvestolper benyttet til laboratorieprøvinger

Beskrivelse	Stolpemateriale	Fotplatemateriale	Annet
Toppmontert med liten fotplate	Stål S355 hulprofil 100 x 50 x 3 mm	Påsveiset stålplate 100 x 100 x 20 mm	Se Figur 22
Toppmontert med stor fotplate	Stål S355 hulprofil 80 x 40 x 3 mm	Påsveiset stålplate 100 x 150 x 10 mm	Se Figur 22
Forkantmontert med fotplate	Stål S355 hulprofil 80 x 40 x 3 mm	Påsveiset stålplate 100 x 190 x 10 mm	Se Figur 23
Forkantmontert med monteringshull	Stål S355 hulprofil 100 x 50 x 3 mm	-	Se Figur 23

Hvilken prøvestolpe som er benyttet i hver test, samt øvrige materialer og festemidler, er beskrevet i avsnitt C.6.



Figur 22
Toppmonterte prøvestolper



Figur 23
Forkantmonterte prøvestolper

C.4 Prøvmingsmetode

Utførte prøvinger er basert på SINTEFs prøveretningslinjer for glassrekkverk, benevnt NBI – 170, metode A: bestemmelse av stivhet og styrke på rekkverksstolper. Se vedlegg B.

Vurderingskriterier:

- Maks tillatt deformasjon på 50 mm ved linjelast 1,0 kN/m
- Bruddlast > 1,5 x linjelast
- Permanent deformasjon etter avlasting fra brukslast har vi for disse prøvingene vurdert til å burde ligge under 5 mm for å unngå synlige skjevheter.

Det ble hovedsakelig ikke gjennomført flere helt like prøvinger per prøveoppstilling. For prøving av rekkverksstolper i metall kreves normalt tre parallelle prøvinger og fire parallelle prøvinger for glass. Treverk dimensjoneres normalt ved beregning, siden variasjonene i treverk er så store at det ville krevd svært mange prøvinger. Resultatverdiene fra prøvingene som er utført i dette prosjektet, må derfor betraktes som indikerende resultater.

Stolpen ble først belastet opp til brukslast tilsvarende 1,0 kN/m, holdt i minimum 5 sekunder, og avlastet igjen. Deretter belastet opp igjen og videre til brudd eller til prøvingen ble avbrutt.

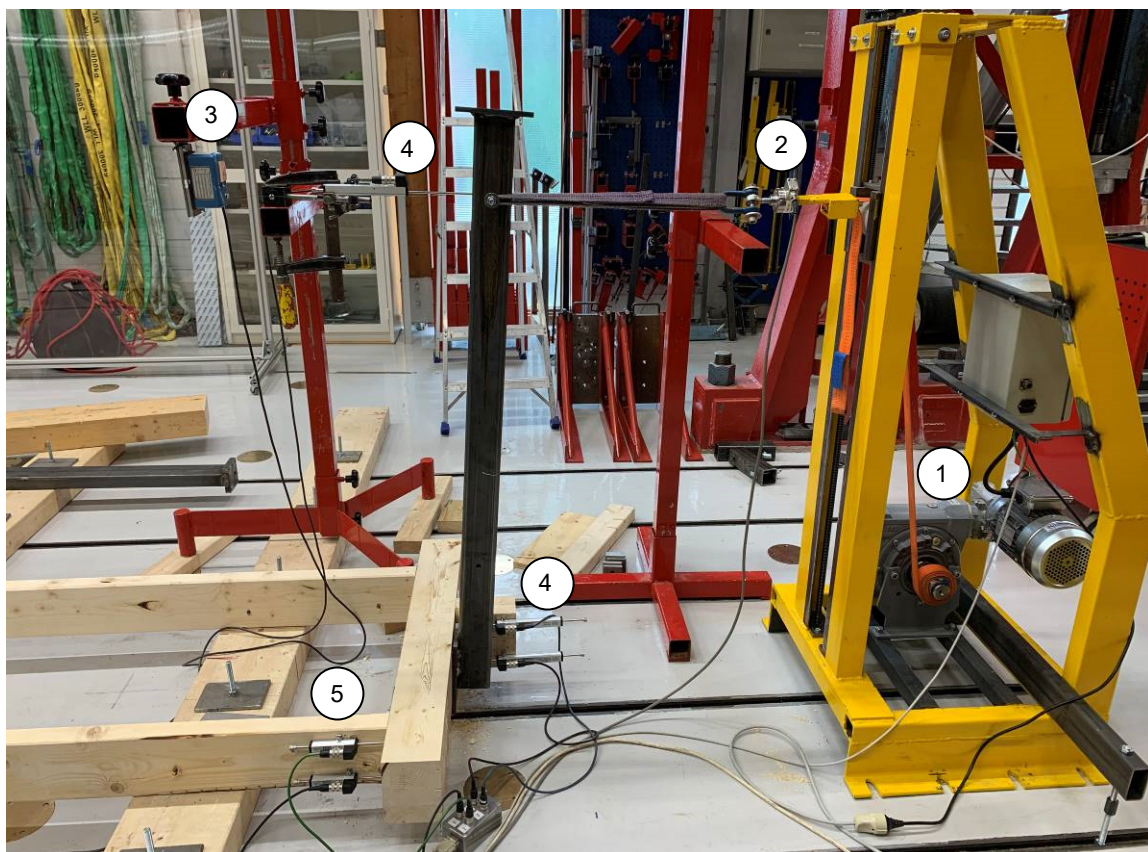
Belastning ble påført langsomt (> 1 min til prøvelast). Kraft og deformasjon ble logget gjennom hele prøvingen med 5 Hz frekvens.

Prøvingsutstyret som ble benyttet, er gitt i Tabell 9.

Se også eksempel på prøveoppstilling i Figur 24

Tabell 9
Prøvingsutstyr

Pos.	Bruk	Beskrivelse	Type	SINTEF utstyrsnr.
1	Kraftpåføring	Justerbart stativ med elektrisk vinsj. Trinnløs hastighetsjustering	Egenprodusert	–
2	Kraftmåling	Kraftgiver for strekk og trykk	HBM U2B 10kN	M nr. 5388
3	Deformasjonsmåling av stolpe	Posisjongsgiver, 1 000 mm trådgiver	Huston Scientific	M nr. 5100
4	Deformasjonsmåling av stolpe og stolpefot	Posisjongsgiver, 100 mm induktiv	Novotechnik TRS 100	ID-4212
5	Deformasjonsmåling av beslag	Posisjongsgiver, 50 mm induktiv	Novotechnik TRS 50	ID-4213
–	Avlesning av givere	Måleforsterker	HBM MGCplus	ID-5054
–	Logging av resultater	Programvare	HBM Catman Easy versjon 5.2.1.34	–



Figur 24
Eksempel på prøveoppstilling med posisjonsangivelser for prøvingsutstyr som listet opp i Tabell 9

C.5 Usikkerhet ved prøving

Beregnete usikkerheter ved måling av kraft og deformasjon i laboratoriet er vist i Tabell 10.

Tabell 10

Beregnet usikkerhet ved måling av kraft og deformasjon

Parameter	Beregnet usikkerhet	
	Stivhet	Styrke
Usikkerhet i måling av kraft	1,5 %	1,5 %
Usikkerhet i måling av deformasjoner	1,6 %	1,6 %
Avvik i prøveoppstillingen, i posisjon for opplager og laster	3,0 %	1,0 %
Vinkelavvik og feil lastretning ved 50 mm deformasjon	0,2 %	0,2 %
SUM (kvadratsum)	3,7 %	2,4 %

Beregnet usikkerhet vil ofte bli et grovt estimat for virkelig usikkerhet.

I tillegg vil det være en usikkerhet av ukjent størrelse i form av variasjoner i monteringsutførelsene.

Treverk vil ha relativt stor spredning i egenskapene. Hvis en trekonstruksjon skal dimensjoneres ved prøving, kreves det et stort antall parallelle prøver. En enkelt prøving vil normalt gi høyere bruddlaster enn beregninger vil gi.

Ifølge Sørbø Industribeslag – en av partnerne i prosjektet – vil skrudde forbindelser i treverk oppnå full kapasitet først etter en viss tid fordi trefibrene rundt forbindelsen sakte endrer seg etter at skruen er montert. Prøvingene er her i hovedsak utført rett etter montering, og kan derfor betraktes som konservativt.

C.6 Prøvinger og resultater

Totalt ble 42 laboratorieprøvinger gjennomført i dette prosjektet.

Her følger beskrivelse av prøveoppstillinger, resultater og vurderinger fra et utvalg av prøvingene, der noen mislykkede eller uinteressante prøvinger er sortert vekk.

Prøveresultatene er drøftet ytterligere i kapittel 5.

Prøveoppstilling A: Toppmontert stolpe på konstruksjon av 48 mm x 148 mm impregnerert konstruksjonsvirke

Beskrivelse: Prøving av typisk konstruksjon på balkonger og terrasser til bolighus, med konvensjonelle materialer og skrueforbindelser i knutepunktene. Prøveoppstillingen er beskrevet i Tabell 11 og vist i Figur 25. Prøveoppstillingen representerer også tilfeller der underlagsplanken til rekkverket er felt ned i bjelkelaget for å få en plan overflate.

Tabell 11
Prøveoppstilling A

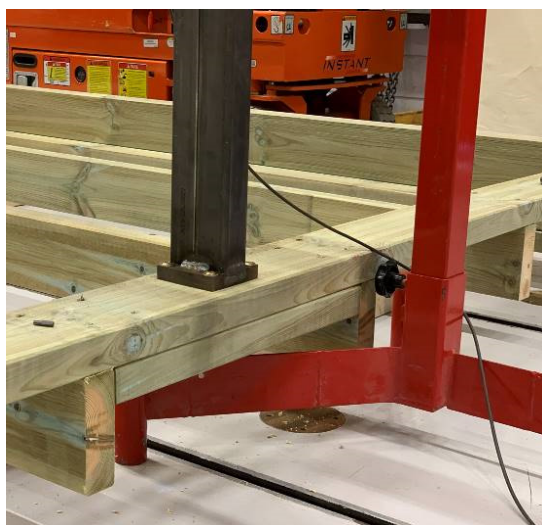
Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. Underlag for rekkverk bestående av 48 mm x 148 mm plank lagt på flasken ytterst på bjelkelaget, og med 48 mm x 148 mm kubbing på undersiden.
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregneret furu C24 (ferskt). Anslått fukt: 30 vektprosent
Sammenføyninger	Plank i forkant skrudd til bjelkelag med 2 stk. 6,0x120 mm treskruer på hver side. Kubbing bare skrudd til planken over med 4 stk. 6,0x120 mm treskruer og festeskruene til stolpen.
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkantrør 50 x 100 x 3,2 mm, fotplate 100 x 100 x 20 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. WÜRTH Treskrue ASSY 4 WH EIZn 8,0x120/80 mm
Belastningshøyde	1 000 mm over stolpens underlag
Andre opplysninger	Prøveoppstillingen representerer også konstruksjoner med den ytterste planken nedfelt i bjelkelaget.

Resultater: Nøkkelforhold er gitt i Tabell 12. Oppnår ikke brukslast før prøven går til brudd og deformasjonene i stolpen er store allerede ved lave laster. Se også Figur 26.

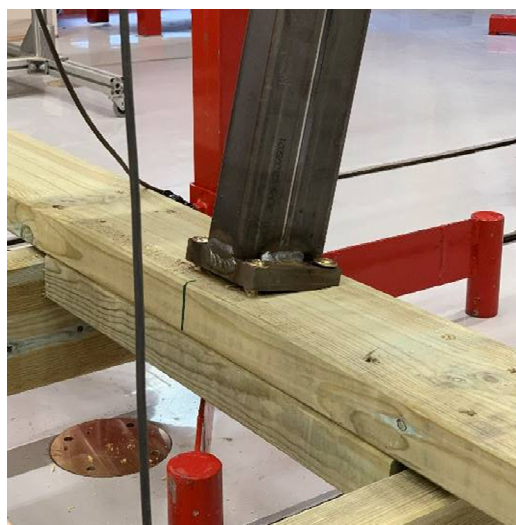
Tabell 12
Prøveresultater fra prøveoppstilling A

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
2	–	–	1,17	Deformasjon ved 1,0 kN var 118,4 mm. Gjennomtrekking av 6 mm treskruer til bjelkelaget. Uttrekk av to 8 mm skruer til stolpen og trykkbrudd i treverket under stolpefoten. Treverket var svært vått.

Vurderinger: Stivhet og styrke er for dårlig. Skrueforbindelsene i knutepunktene er mest kritiske. Små skruehoder har ikke tilstrekkelig gjennomtrekkingskapasitet for momentkreftene som oppstår. 8 mm treskruer til stolpen har ikke tilstrekkelig uttrekkskapasitet. Treverket må tørke for å oppnå bedre uttrekk- og gjennomtrekkingskapasitet, samt trykkfasthet.



Figur 25
Prøveoppstilling A



Figur 26
Ut- og gjennomtrekking av skruer ved bruddlast

Prøveoppstilling B: Toppmontert stolpe på limtre

Beskrivelse: Prøving med antatt gunstig underlag for å se om toppmontert stolpe med relativt liten fotplate festet med treskruer kan fungere i det hele tatt. Prøveoppstillingen er beskrevet i Tabell 13 og vist i Figur 27.

Tabell 13
Prøveoppstilling B

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	115 mm x 225 mm limtredrager på høykant, plassert i belastningsretningen og forankret til gulvet i hver ende
Trevirke	Gran limtre Moelven. Lagret tørt innendørs før prøving. Fuktinnhold ikke målt.
Sammenføyninger	Ikke relevant
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkantør 50 x 100 x 3,2 mm, fotplate 100 x 100 x 20 mm
Innfesting av stolpe	Test 3: 4 stk. WÜRTH Treskrue ASSY 4 WH ElZn 8,0x120/80 mm Test 4: 4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal
Belastningshøyde	1 000 mm over stolpens underlag
Andre opplysninger	Stolpen er belastet i gunstig retning parallelt med trefibrene.

Resultater: Nøkkelfullførte er gitt i Tabell 14. Se også Figur 28 fra test nr. 4.

Tabell 14
Prøveresultater fra prøveoppstilling B

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
3	7,5	1,4	1,822	Belastet til 1,4 kN før avlastning. Uttrekk av to skruer og trykkbrudd i forkant ved bruddlast. Vanskelig å se hva som skjedde først.
4	9,1	1,1	2,775	Trykkbrudd i forkant ved bruddlast, deretter uttrekk av skruer i bakkant.

Vurderinger: Begge prøver oppnår akseptabel stivhet, bruddstyrke og setninger. Belastningsretningen er gunstig for treverket, og det er tilnærmet ingen deformasjoner i konstruksjonen utover de lokale deformasjonene rundt innfestingen av stolpen. Målt deformasjon er større med kraftigere skruer. Deformasjonene ved brukslast vil ha en viss spredning på grunn av variasjoner i treverket, monteringsutførelse og forspenning av skruene. Uttrekkskapasiteten økes derimot med større skruer.



Figur 27
Prøveoppstilling B



Figur 28
Uttrekk og trykkbrudd ved bruddlast, test 4

Prøveoppstilling C: Toppmontert stolpe på limtre festet med bjelkesko

Beskrivelse: Prøving av hvordan limtre som rekkverksunderlag kan brukes i en konstruksjon med bjelkelag av konstruksjonsvirke. Prøver konvensjonell løsning med bjelkesko. Prøveoppstillingen er beskrevet i Tabell 15 og vist i Figur 29.

Tabell 15
Prøveoppstilling C

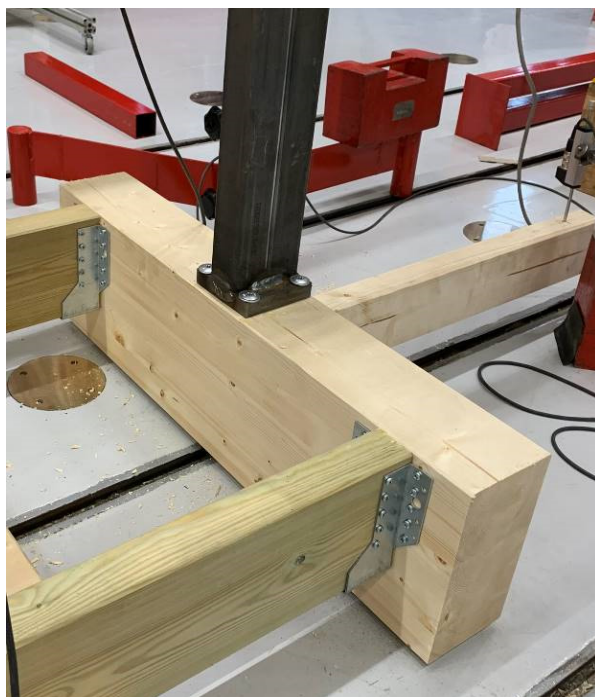
Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 115 mm x 225 mm limtre som underlag for stolpe festet på høykant til enden av bjelkene.
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregnerert furu C24 (tørket, ikke målt) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	Bjelkesko 48/91 mm utvendig (t = 2 mm), skrudd med 5,0x35 mm beslagskruer i alle hull mot bjelkelaget og i alle innerste hull mot limtrebjelke.
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkantør 50 x 100 x 3,2 mm, fotplate 100 x 100 x 20 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal
Belastningshøyde	1 000 mm over stolpens underlag
Andre opplysninger	–

Resultater: Nøkkelfullstater er gitt i Tabell 16. Se også Figur 30.

Tabell 16
Prøveresultater fra prøveoppstilling C

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
6	34,7	7,2	2,485	Stolpesko deformeres tidlig og beslagskruer trekkes ut av limtrebjelke ved bruddlast. Også trykkbrudd under forkant av stolpefot.

Vurderinger: Bruddlast og deformasjon ved brukslast er akseptabel gitt at rekkverksstolpen i seg selv er svært stiv. Men permanent deformasjon er for stor og setninger oppstår tidlig, slik at rekkverket lett kan oppfattes som skjevt. Bjelkesko er primært utformet for vertikale laster, ikke momentbelastning. Beslagets godstykkelse og interne stivhet er for dårlig til dette formålet.



Figur 29
Prøveoppstilling C



Figur 30
Deformasjon av beslag og uttrekk av skruer

Prøveoppstilling D: Toppmontert stolpe på 48 mm x 148 mm i forkant med kubbing

Beskrivelse: Prøving av antatt typisk "tømmerløsning" for bygging av balkong, uten spesielle hensyn til dimensjonerende laster fra rekkverk annet enn nok treverk å skru stolpene fast i. Prøveoppstillingen er beskrevet i Tabell 17 og vist i Figur 31.

Tabell 17
Prøveoppstilling D

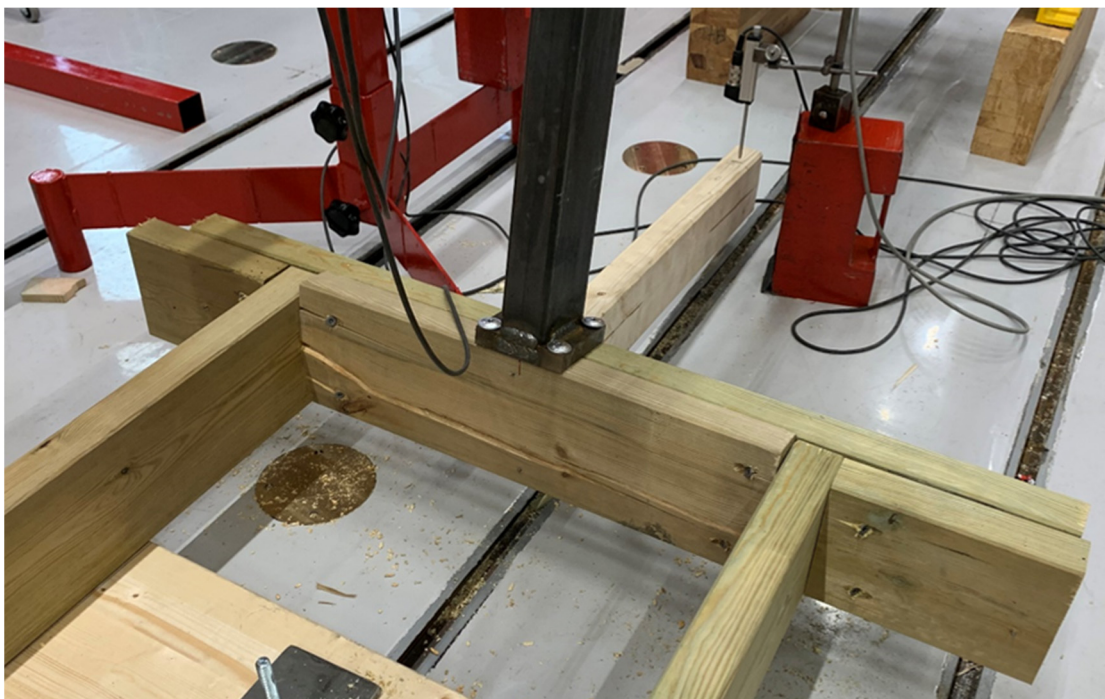
Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 48 mm x 148 mm planke i forkant av bjelkelag med 48 mm x 148 mm kubbing
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregnerert furu C24 (ca. 16 vektprosent fukt)
Sammenføyninger	Forkantplanken skrudd fra utsiden til endene av bjelkelaget med 2 stk. 6,0x150 mm ordinære treskruer i hver bjelke. Kubbingen skrudd til forkantplanken med 2 stk. 6,0x100 mm treskruer og stikkskrudd til bjelkelaget med 2 stk. 6,0x150 mm treskruer på hver side.
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkantrør 50 x 100 x 3,2 mm, fotplate 100 x 100 x 20 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal (forboret hull Ø6 mm)
Belastningshøyde	1 000 mm over stolpens underlag
Andre opplysninger	Fukttinnhold målt med veie-tørke-metoden i henhold til Byggforskserien 474.531

Resultater: Nøkkelfullførte er gitt i Tabell 18. Se også Figur 31.

Tabell 18
Prøveresultater fra prøveoppstilling D

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
8	89,9	23,3	1,544	Oppleves ikke stivt. Begynnende gjennomtrekking av de øverste skruehodene i forkant. Kubbingen sprekker på langs ved bruddlast.

Vurderinger: Stivhet, setninger og bruddlastkapasitet er langt fra tilfredsstillende. Forkant-montert stolpe på tilsvarende konstruksjon ville sannsynligvis gi liknende resultater og er heller ikke en anbefalt løsning.



Figur 31
Prøveoppstilling D. Gjennomtrekking av treskruer i forkant, og kubbingen sprekker ved bruddlast.

Prøveoppstilling E: Toppmontert stolpe på sammenskrudd konstruksjonsvirke

Beskrivelse: Prøving av alternativ løsning for å bruke bare konstruksjonsvirke som underlag for rekkverk i enden av bjelkelaget. Bruker stolpe med større fotplate og kraftige skruer for å minimere deformasjonene lokalt i innfestingen og fokusere på den øvrige konstruksjonen. Prøveoppstillingen er beskrevet i Tabell 19 og vist i Figur 32.

Tabell 19
Prøveoppstilling E

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 48 mm x 148 mm planke lagt på flasken og innfelt i enden av bjelkene, med kubbing under. 48 mm x 173 mm planke i forkant.
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregnert furu C24 (ca. 16 vektprosent fukt)
Sammenføyninger	Topplanke skrudd ned i bjelkelaget med 2 stk. 6,0x120 mm ordinære treskruer på hver side. Kubbing skrudd til topplanken fra oversiden med 6,0x120 mm treskruer og stikkskrudd fra undersiden i knutepunktene. Forkantplanke skrudd til topplanke fra utsiden og til bjelkeendene med samme type treskruer.
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkantrør 40 x 80 x 3 mm, fotplate 100 x 150 x 10 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal. 2 muttere som avstandsstykker til bakre skruerhoder for å utnytte hele gjengelengden.
Belastningshøyde	1 000 mm over stolpens underlag
Andre opplysninger	Fuktinnhold målt med veie-tørke-metoden i henhold til Byggforskserien 474.531

Resultater: Nøkkelfullførte er gitt i Tabell 20. Se også Figur 33.

Tabell 20
Prøveresultater fra prøveoppstilling E

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
10	40,2	12,1	2,680	Topplanken sprekker hele veien på langs ved bakre stolpeskruer ved bruddlast. Kubbing sprekker også. Forkantplanken trykkes langt ned.

Vurderinger: Stivhet og setninger er ikke tilfredsstillende. De aller fleste rekkverksstolper har dårligere stivhet enn prøvestolpen. Bruddlastkapasiteten er OK, det er et seigt brudd. Skruerforbindelsen i rett inn i bjelkenes endeved har dårlig kapasitet for skjærkrefter og får tidlig deformasjoner.



Figur 32
Prøveoppstilling E



Figur 33
Topplanke og kubbing sprekker.

Prøveoppstilling F: Forkantmontert stolpe på sammenskrudd konstruksjonsvirke

Beskrivelse: Prøving av enda en alternativ løsning for å bruke bare konstruksjonsvirke som underlag for rekkverk i enden av bjelkelaget. Bruker forkantmontert stolpe med stor fotplate og kraftige skruer for å minimere deformasjonene lokalt i innfestingen og fokusere på den øvrige konstruksjonen. Prøveoppstillingen er beskrevet i Tabell 21 og vist i Figur 34.

Tabell 21
Prøveoppstilling F

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 48 mm x 148 mm planke lagt på flasken og felt ned i enden av bjelkelaget. 48 mm x 198 mm planke montert i forkant. Kubbing på baksiden bestående av 48 mm x 98 mm planker på høykant for å få skruefeste til stolpen.
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregnerert furu C24 (ca. 16 vektprosent fukt)
Sammenføyninger	Topplanke skrudd ned i bjelkelaget med 4 stk. treskruer. Forkantplanke skrudd til topplanke og bjelkeender. Kubbing er stikkskrudd fra baksiden med to skruer i hver ende. Alle skrueforbindelsene er utført med 6,0x120 mm ordinære treskruer.
Prøvestolpe	Forkantmontert stolpe, stål firkantrør 40 x 80 x 3 mm, fotplate 100 x 190 x 10 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal (forboret Ø6 mm). 2 stk. M16 muttere som avstandsstykker til skruerhoder for å utnytte hele gjengelengden.
Belastningshøyde	1 020 mm over bjelkelaget (mtp. gulvbord)
Andre opplysninger	Fukttinnhold målt med veie-tørke-metoden i henhold til Byggforskserien 474.531

Resultater: Nøkkelfullførte er gitt i Tabell 22. Se også Figur 35.

Tabell 22
Prøveresultater fra prøveoppstilling F

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
14	45,7	10,8	2,750	Ved bruddlast er deformasjonen ca.170 mm. Topplanken sprekker i midten ved bruddlast og forkantplanken med stolpeskruer trekkes ut.

Vurderinger: Stivhet og setninger er ikke tilfredsstillende. Bruddlastkapasiteten er OK, men deformasjonen er stor. Det er et seigt brudd. Mesteparten av kreftene går tilsynelatende i topplanken og skrueforbindelsen til bjelkelaget.



Figur 34
Prøveoppstilling F



Figur 35
Topplanke sprekker ved bruddlast.

Prøveoppstilling G: Toppmontert stolpe på dobbel 48 mm x 148 / 198 mm

Beskrivelse: Isolert prøving av kapasiteten til konstruksjonsvirke for å sjekke den beste stivheten man kan forvente å få med disse materialene dersom stolpeinnfesting og knutepunkter er gode nok. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 23 og vist i Figur 36 og Figur 37.

Tabell 23

Prøveoppstilling G

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. Test 11: dobbel 48 mm x 148 mm plank på flasken lagt oppå bjelkelaget. Test 13: dobbel 48 mm x 198 mm plank på flasken lagt oppå bjelkelaget.
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregneret furu C24 (ca. 16 vektprosent fukt)
Sammenføyninger	Test 11: 2 stk. ESSVE treskrue 8,0x170 mm med stort hode ned i hver bjelke Test 13: 2 stk. ESSVE treskrue 8,0x170 mm med stort hode og 50 mm skive
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkantør 40 x 80 x 3 mm, fotplate 100 x 150 x 10 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal. 2 stk. M16 muttere som avstandsstykker til skruhodene for å utnytte hele gjengelengden.
Belastningshøyde	1 000 mm over stolpens underlag
Andre opplysninger	Fukttinnhold målt med veie-tørke-metoden i henhold til Byggforskserien 474.531

Resultater: Nøkkelfullstater er gitt i Tabell 24.

Tabell 24

Prøveresultater fra prøveoppstilling G

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
11	38,4	7,6	2,350	Stolpen ser skjev ut etter avlastning fra brukslast. Begynnende gjennomtrekking av 8 mm skruer i toppplanken rundt 1,4 kN og uttrekk i bjelkelaget ved bruddlast. Avtrykk fra bjelkene.
13	23,3	2,0	3,750	Belastet til 1,25 kN før avlastning. Uttrekk av 8 mm skruer i bjelkelaget ved bruddlast.

Vurderinger: Stivheten med dobbel 48 mm x 148 mm gir lite margin for deformasjon i stolpe og innfestinger. Kontaktflaten mellom planker og bjelker er trolig for liten for den begrensede trykkfastheten som konstruksjonsvirke har. Setningene fra brukslast er for store. 48 mm x 198 mm fungerer brukbart for både stivhet, setninger og bruddlastkapasitet – trolig på grunn av større kontaktflate mellom treverket og lengre momentarmer. Med forutsetning om maks 50 mm deformasjon i toppen av rekkverket må man altså regne med at minst halvparten forsvinner i underlaget ved denne type konstruksjon.



Figur 36
Prøveoppstilling G, test 11



Figur 37
Prøveoppstilling G, test 13. To skruer er fjernet etter prøving.

Prøveoppstilling H: Forkantmontert stolpe på limtre festet med vinkelbeslag til 48 mm x 198 mm bjelkelag

Beskrivelse: Forsøk med å benytte 8" (198 mm) høyt bjelkelag, limtre og forsterkning av knutepunktene med beslag. Tar utgangspunkt i konvensjonelle vinkelbeslag som er tilgjengelige hos de fleste byggevareforhandlere, og prøver ulike skruer. Bruker forkantmontert stolpe med stor fotplate og kraftige skruer for å minimere deformasjonene lokalt i innfestingen. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 25 og vist i Figur 38 til Figur 41.

Tabell 25
Prøveoppstilling H

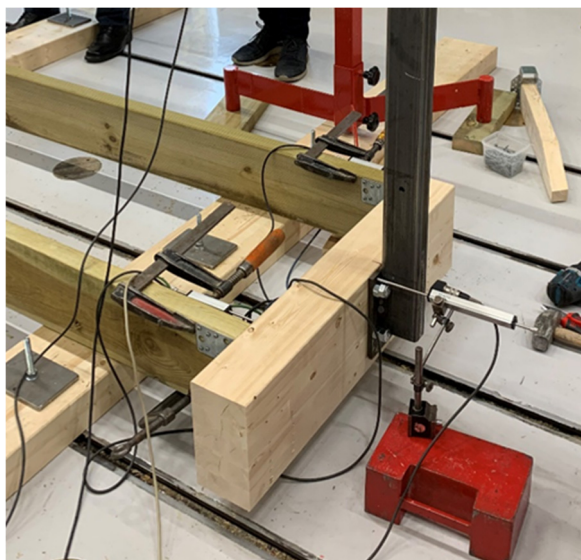
Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 198 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 115 mm x 225 mm limtre festet på høykant til enden av bjelkene.
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregnerert furu C24 (ca. 16 vektprosent fukt), konstruksjonsvirke gran C24 (tørr, ikke målt) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	Test 16: 2 stk. FAST Vinkelbeslag ABY 90x90x2,5x65 mellom hver bjelke og limtre. Skrudd med 4,8x35 mm beslagskruer. Test 18: 2 stk. FAST forsterket vinkelbeslag ABXR 90x90x2,0x65 mellom hver bjelke og limtre. Skrudd med 5,0x40 mm beslagskruer til bjelkene og 4 stk. FAST Treskrue Hex 6,0x100 mm i hvert beslag mot limtre.
Prøvestolpe	Forkantmontert stolpe, stål firkantør 40 x 80 x 3 mm, fotplate 100 x 190 x 10 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal. 2 stk. M16 muttere som avstandsstykker til skruehodene for å utnytte hele gjengelengden.
Belastningshøyde	1 000 mm over bjelkelag og limtre
Andre opplysninger	Fuktinnhold målt med veie-tørke-metoden i henhold til Byggforskserien 474.531

Resultater: Nøkkelforhold er gitt i Tabell 26. Se også Figur 41.

Tabell 26
Prøveresultater fra prøveoppstilling H

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
16	26,0	3,6	2,750	Vinkelbeslag montert med litt forspenning mot limtreet. Det blir tidlig en åpning mellom limtre og bjelkeende fordi beslagene gir etter i hjørnene. Uttrekk av beslagskruer fra limtreet ved bruddlast.
18	20,9	2,8	3,600	Vinkelbeslag montert med litt forspenning mot limtreet og med lange treskruer. Øvre skruer til stolpen trekkes ut ved bruddlast. Noe deformasjon av beslag, mens innfestingen av disse er tilsynelatende intakt etter avlasting.

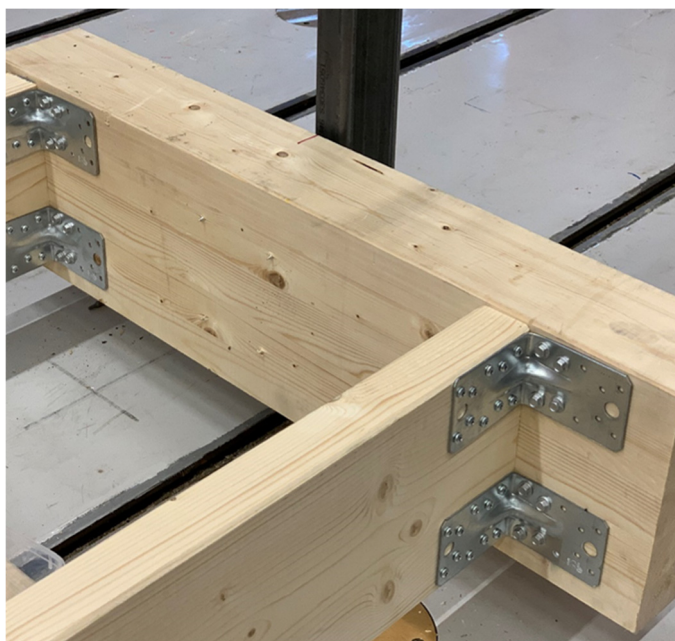
Vurderinger: Begge prøveoppstillingene kan sies å fungere tilfredsstillende med tanke på stivhet, setninger og bruddkapasitet. Monteringen er derimot relativt tidkrevende og krever nøyaktig utførelse for å fungere godt. Lange treskruer mot limtreet er gunstig. Det er fort gjort å overtrekke disse skruene og vanskelig å rette opp skaden uten å miste kapasitet i forbindelsen. Oppsettet forutsetter også 48 mm x 198 mm bjelkelag. Forsterkningsribben til beslaget i test 18 har gunstig effekt, til tross for redusert godstykkelse. Beslagets interne stivhet er altså av stor betydning for knutepunktets stivhet.



Figur 38
Prøveoppstilling H, test 16



Figur 39
Prøveoppstilling H, test 16 med vinkelbeslag



Figur 40
Prøveoppstilling H, test 18



Figur 41
Test 18 ved bruddlast

Prøveoppstilling I: Forkantmontert stolpe på limtre festet med vinkelbeslag til 48 mm x 148 mm bjelkelag

Beskrivelse: Forsøk med å benytte 6" (148 mm) høyt bjelkelag, limtre og forsterkning av knutepunktene med beslag. Bruker forkantmontert stolpe med stor fotplate og kraftige skruer for å minimere deformasjonene lokalt i innfestingen. Benytter også posisjonsgivere for å måle deformasjoner lokalt ved beslagforbindelsen og i stolpefoten. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 27 og vist i Figur 42 til Figur 45.

Tabell 27

Prøveoppstilling I

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 115 mm x 150 mm limtre festet på høykant til enden av bjelkene.
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregneret furu C24 (ca. 16 vektprosent fukt), konstruksjonsvirke gran C24 (tørr, ikke målt) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	Test 19, 20, 26 og 27: 2 stk. FAST vinkelbeslag ABXR 90x90x2,0x65 mellom hver bjelke og limtre. Test 29: 2 stk. Simpson Strong-Tie vinkelbeslag ABR9020 (90x90x2,0x65 mm). Alle tester: Beslag skrudd med 5,0x40 mm beslagskruer til bjelkene og 4 stk. FAST Treskrue Hex 6,0x100 mm i hvert beslag mot limtre.
Prøvestolpe	Forkantmontert stolpe, stål firkantør 40 x 80 x 3 mm, fotplate 100 x 190 x 10 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal. M16 muttere som avstandsstykker til skruhodene for å utnytte hele gjengelengden.
Belastningshøyde	Test 19 og 20: 1000 mm over bjelkelag og limtre Test 26, 27 og 29: 1025 mm over bjelkelag og limtre (mtp. gulvbord)
Andre opplysninger	Simpson Strong-Tie vinkelbeslag har en litt annen utforming av forsterkningsribbe enn FAST vinkelbeslag. Posisjonsgivere til limtre er montert med vertikal avstand 90 mm. Givere mot fotplaten er montert med vertikal avstand 153 mm. Test 27: Lastfordelingsplate av 150 x 150 x 3 mm rustfritt stål under fotplaten.

Resultater: Nøkkelforresultater er gitt i Tabell 28. Test 20 til 29 ble ikke kjørt til bruddlast. Stolpen ble gitt et dunk før avlesing av permanente deformasjoner for å løse opp restspenninger.

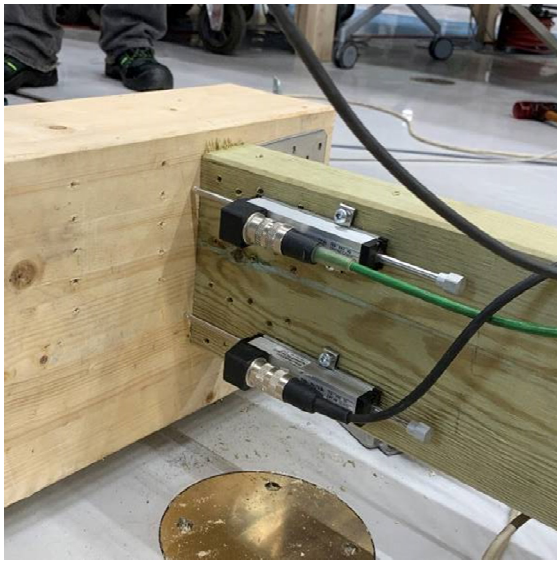
Tabell 28

Prøveresultater fra prøveoppstilling I

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]			Perm. def. [mm]			Notater
	Stolpe	Beslag øvre nederst	Fotplate øverst nederst	Stolpe	Beslag øvre nederst	Fotplate øverst nederst	
19	27,9	–	–	3,9	–	–	Bruddlast 3,630 kN. Uttrekk av skruer, deformasjon av beslag og inntrykking av bjelkeender i limtre ved bruddlast.
20	31,1	0,56 -0,28	-0,31 0,61	4,4	0,02 -0,21	-0,06 0,07	Ca. 2,6 mm av stolpens permanente deformasjon skjer i beslagforbindelsen og ca. 0,9 mm i fotplaten. Resterende deformasjon er uviss.
26	26,7	0,51 -0,19	-0,23 0,27	2,5	0,05 -0,11	-0,06 -0,01	Referansetest uten lastfordelingsplate
27	31,7	0,87 -0,18	-0,18 0,29	4,3	0,19 -0,12	-0,03 0,00	Test med lastfordelingsplate bak fotplaten. Gjenbrukte beslag.
29	28,1	0,22 -0,13	-0,16 0,09	2,3	0,02 -0,04	-0,01 0,01	Annen type vinkelbeslag.

Vurderinger: Denne løsningen kan sies å fungere tilfredsstillende, men krever relativt stive rekkverksstolper, og setningene er på grensen til akseptable. Monteringen er derimot relativt tidkrevende og krever nøyaktig utførelse for å fungere godt. Test 20 viser at størsteparten av de permanente setningene oppstår i beslagforbindelsen. Optimaliserte beslag kan trolig forbedre resultatene ytterligere. Lastfordelingsplaten i test 27 hadde ingen merkbar effekt på setningene.

Prøvingen viser også at spredningen i resultatene for permanente setninger er relativt stor og skyldes trolig hovedsakelig variasjoner i monteringsutførelsen.



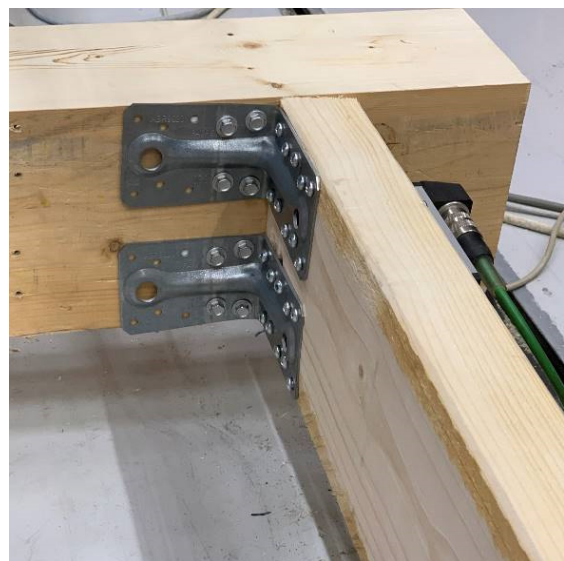
Figur 42
Prøveoppstilling I, test 20. Pos. givere mot limtre



Figur 43
Test 20. Pos. givere mot stolpefot



Figur 44
Test 27 med lastfordelingsplate



Figur 45
Test 29 med annen type vinkelbeslag

Prøveoppstilling J: Forkantmontert stolpe på limtre festet med kraftige vinkelbeslag til 48 mm x 148 mm bjelkelag

Beskrivelse: Prøving med kraftigere vinkelbeslag i forsøk på å bedre stivheten i knutepunktene. Prøveoppstillingen er beskrevet i Tabell 29 og vist i Figur 46.

Tabell 29

Prøveoppstilling J

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 115 mm x 225 mm limtre festet på høykant til enden av bjelkene.
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregnerert furu C24 (ca. 16 vektprosent fukt) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	2 stk. FAST vinkelbeslag ABNR 135X90X4,0X65 skrudd med 5,0x40 mm beslagskruer til bjelkene og 2 stk. SØRBØ BIG BJØRN 8,0x100 mm i hvert beslag mot limtre.
Prøvestolpe	Forkantmontert stolpe, stål firkantrør 40 x 80 x 3 mm, fotplate 100 x 190 x 10 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal (forboret Ø6 mm). 2 stk. M16 muttere som avstandsstykker til skruerhoder for å utnytte hele gjengelengden.
Belastningshøyde	1 025 mm over bjelkelaget
Andre opplysninger	Fuktinnhold målt med veie-tørke-metoden i henhold til Byggforskserien 474.531

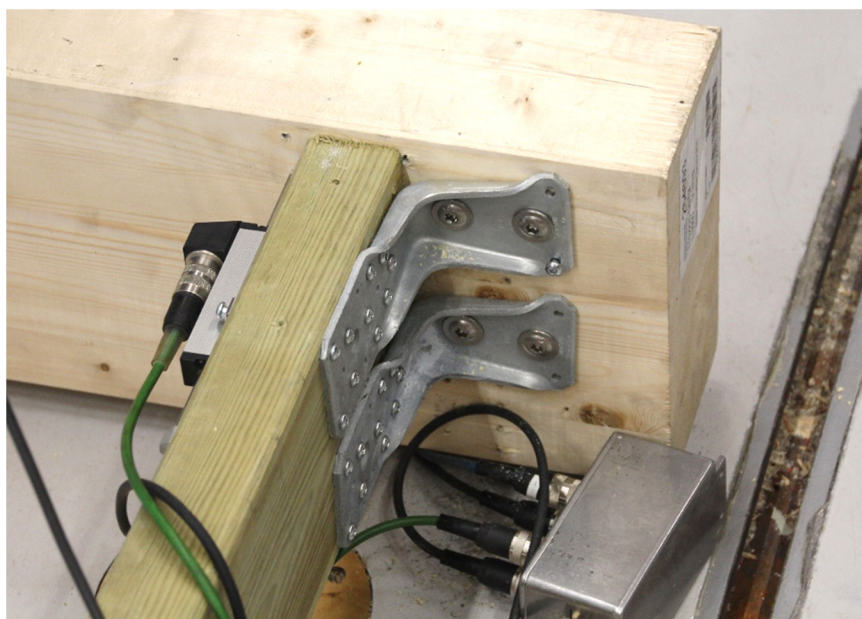
Resultater: Nøkkelfullførte er gitt i Tabell 30.

Tabell 30

Prøveresultater fra prøveoppstilling J

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
25	33,9	5,1	2,350	Uttrekk av øvre stolpeskruer ved bruddlast. Synlig inntrykk i limtre fra fotplate etter prøving.

Vurderinger: Stivheten er på grensen, og varig deformasjon er i overkant av tilfredsstillende. Grunnet skruenes størrelse er de plassert for langt unna beslagets hjørne, og beslagets stivhet blir dermed for dårlig. Utforming av beslag og hullplassering er avgjørende for stivheten. Store monteringshull i beslaget og få skruer gir også mulighet for lokale forskyvninger.



Figur 46

Prøveoppstilling J med kraftige vinkelbeslag

Prøveoppstilling K: Forkantmontert stolpe på dobbel 48 mm x 148 mm festet med vinkelbeslag til 48 mm x 148 mm bjelkelag

Beskrivelse: Forsøk for å se om konstruksjonsvirke likevel kan erstatte limtre i forkant hvis beslagsforbindelser og innfesting av stolpe er god. Prøving av både sammenskrudd og limt konstruksjonsvirke. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 31 og vist i Figur 47 til Figur 49.

Tabell 31
Prøveoppstilling K

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. Dobbelt 48 mm x 148 mm planke festet på høykant i bjelkeendene.
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregneret furu C24 (ca. 16 vektprosent fukt), konstruksjonsvirke gran C24 (tørr, ikke målt) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	2 stk. FAST Vinkelbeslag ABY 90x90x2,5x65 mellom hver bjelke og forkantplanker. Skrudd med 5,0x40 mm beslagskruer til bjelkene og 4 stk. FAST Treskrue Hex 6,0x100 mm i hvert beslag mot forkantplanken. Test 36: Forkantplankene er i tillegg limt sammen med ESSVE Trålim PU med aktivator og herdet i 4 døgn.
Prøvestolpe	Forkantmontert stolpe, stål firkantrør 40 x 80 x 3 mm, fotplate 100 x 190 x 10 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. ESSVE Treskrue WAF SH 10,0x140 CorrSeal (forboret Ø6,2 mm). 2 stk. M12 muttere som avstandsstykker til skruerhoder for å utnytte hele gjengelengden.
Belastningshøyde	1 025 mm over bjelkelaget
Andre opplysninger	Fukttinnhold målt med veie-tørke-metoden i henhold til Byggforskserien 474.531. Veden i forkantplankene har stor avstand mellom årringer, og overflaten føles myk.

Resultater: Nøkkresultater er gitt i Tabell 32. Se også Figur 49.

Tabell 32
Prøveresultater fra prøveoppstilling K

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
23	48,5	3,4	–	Ikke kjørt til brudd.
36	38,0	5,2	2,300	Uttrekk av de øvre stolpeskruene ved bruddlast.

Vurderinger: Stivhet og setninger er ikke tilfredsstillende. Konstruksjonsvirke har vesentlig dårligere stivhet og trykkfasthet enn limtre. Liming hjelper litt, men ikke tilstrekkelig.



Figur 47
Prøveoppstilling K, test 23, dobbel 48 mm x 148 mm



Figur 48
Prøveoppstilling K, test 36. Liming av forkantplanker



Figur 49
Prøveoppstilling K, test 36, ved bruddlast

Prøveoppstilling L: Toppmontert stolpe på limtre festet med vinkelbeslag, med og uten terrassebord

Beskrivelse: Prøving for å se om toppmontert stolpe oppnår de samme resultatene som forkant-montert stolpe på limtre med beslag, og hvordan terrassebord påvirker konstruksjonen.

Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 33 og vist i Figur 50 og Figur 51.

Tabell 33
Prøveoppstilling L

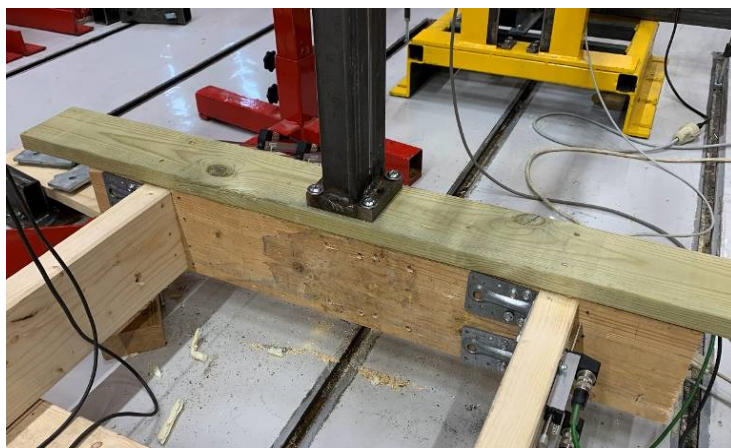
Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 115 mm x 150 mm limtre festet på høykant til enden av bjelkene. Test 34: 28 mm x 120 mm terrassebord montert oppå limtrebjelken.
Trevirke	Konstruksjonsvirke gran C24 (tørr), terrassebord Cu-impregnert furu C24 (tørr) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	2 stk. Simpson Strong-Tie vinkelbeslag ABR9020 (90x90x2,0x65 mm) mellom hver bjelke og limtre. Skrudd med 5,0x40 mm beslagskruer til bjelkene og 4 stk. FAST Treskrue Hex 6,0x100 mm i hvert beslag mot limtre. Test 34: Terrassebord skrudd ved hver bjelke med 2 stk. terrasseskrue 4,2x55 mm
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkanttrør 50 x 100 x 3,2 mm, fotplate 100 x 100 x 20 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. WÜRTH Treskrue ASSY 10,0x120 mm
Belastningshøyde	Test 32: 1 000 mm over bjelkelaget. Test 34 og 35: Ca. 1 025 mm over bjelkelaget
Andre opplysninger	–

Resultater: Nøkkelforhold er gitt i Tabell 34. Prøvingene ble ikke kjørt til brudd. Stolpen ble gitt et dunk før avlesing av permanente deformasjoner for å løse opp restspenninger.

Tabell 34
Prøveresultater fra prøveoppstilling L

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Notater
32	28,1	1,7	Litt lavere belastningshøyde enn test 34 og 35
34	37,4	5,2	Med terrassebord. Nest øverste 6,0x100 mm skrue mellom beslag og limtre sviver etter montering. Terrassebordet virker noe mykt i overflaten. Begynnende trykkbrudd under fotplaten ved brukslast. Stolpen virker ikke slarkete etter avlasting.
35	30,6	2,1	Tilsvarende belastningshøyde som test 35. Nest øverste 6,0x100 mm skrue mellom beslag og limtre sviver etter montering.

Vurderinger: Prøvingene uten påmontert terrassebord viser omtrent tilsvarende resultater for stivhet og setninger som for frontmontert stolpe. Montering av stolpe på terrassebord gir redusert stivhet og større setninger enn montering rett på limtre. I hovedsak ser dette ut til å skyldes inntrykking av overflaten på terrassebordet.



Figur 50
Prøveoppstilling L, test 34. Toppmontert stolpe på terrassebord



Figur 51
Test 35 ved brukslast

Prøveoppstilling M: Forkantmontert stolpe på limtre med bare to festeskruer

Beskrivelse: Prøving av typisk innfesting av forkantmontert rekkverksstolpe med fotplate, eventuelt stolpeklammer, og bare to skruer. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 35 og vist i Figur 52.

Tabell 35

Prøveoppstilling M

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 115 mm x 150 mm limtre festet på høykant til enden av bjelkene.
Trevirke	Konstruksjonsvirke gran C24 (tørr) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	2 stk. Simpson Strong-Tie vinkelbeslag ABR9020 (90x90x2,0x65 mm) mellom hver bjelke og limtre. Skrudd med 5,0x40 mm beslagskruer til bjelkene og 4 stk. FAST Treskrue Hex 6,0x100 mm i hvert beslag mot limtre.
Prøvestolpe	Forkantmontert stolpe, stål firkantør 40 x 80 x 3 mm, fotplate 100 x 190 x 10 mm
Innfesting av stolpe	2 stk. WÜRTH Treskrue ASSY 10,0x120 mm plassert på linje i senter av limtre
Belastningshøyde	1 025 mm over limtre og bjelkelag
Andre opplysninger	Posisjongivere mot fotplaten er montert med vertikal avstand 100 mm.

Resultater: Nøkkelforresultater er gitt i Tabell 36. Prøvingen ble ikke kjørt til brudd.

Tabell 36

Prøveresultater fra prøveoppstilling M

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]		Perm. def. [mm]		Notater
	Stolpe	Fotplate øverst nederst	Stolpe	Fotplate øverst nederst	
30	60,7	-3,32 0,39	5,0	-0,75 -0,37	Stolpeskruene mister forspenningen etter avlasting fra brukslast, og stolpen blir løs sideveis.

Vurderinger: Stivhet og permanent deformasjon er ikke tilfredsstillende. To skruer i senter av fotplaten gir dobbelt så stor utbøyning av stolpen som fire skruer i hjørnene på platen. Det er bare to skruer som blir strukket ved horisontal belastning av stolpen utover. Derfor vill bare to skruer øverst på platen gi tilnærmet samme resultat som fire skruer. Men da ville stolpen hatt dårlig kapasitet for belastning innover, for eksempel fra vind. Det er avstanden fra skruer til rotasjonspunktet som bestemmer kapasiteten, det vil si den nedre kanten på kontaktflaten mellom stolpe og underlag.



Figur 52

Prøveoppstilling M. Stolpe festet med bare to skruer i midten av fotplaten

Prøveoppstilling N: Forkantmontert stolpe på limtre med to festeskruer i stolpens bakvegg

Beskrivelse: Prøving av typisk innfesting av forkantmontert rekkverksstolpe med to skruer gjennom stolpeprofilen. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 37 og vist i Figur 53.

Tabell 37

Prøveoppstilling M

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 115 mm x 150 mm limtre festet på høykant til enden av bjelkene.
Trevirke	Konstruksjonsvirke gran C24 (tørr) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	2 stk. Simpson Strong-Tie vinkelbeslag ABR9020 (90x90x2,0x65 mm) mellom hver bjelke og limtre. Skrudd med 5,0x40 mm beslagskruer til bjelkene og 4 stk. FAST Treskrue Hex 6,0x100 mm i hvert beslag mot limtre.
Prøvestolpe	Forkantmontert stolpe, stål firkantør 100 x 50 x 3,2 mm, 2 monteringshull i bakvegg 25 mm fra enden og med c/c-avstand 100 mm
Innfesting av stolpe	2 stk. WÜRTH Treskrue ASSY 10,0x120 mm plassert symmetrisk midt på limtrebjelken med vertikal c/c-avstand 100 mm
Belastningshøyde	1 025 mm over limtre og bjelkelag
Andre opplysninger	Stolpen har anlegg mot limtre hele veien.

Resultater: Nøkkelresultater er gitt i Tabell 38. Prøvingen ble ikke kjørt til brudd.

Tabell 38

Prøveresultater fra prøveoppstilling M

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Notater
30	57,5	15,8	Tydelig deformasjon i stolpeveggen som skruene er festet i etter avlastning fra brukslast. Stolpeskruene mister forspenningen og stolpen blir løs sideveis.

Vurderinger: Stolpen i seg selv har for dårlig stivhet for denne løsningen. Total stivhet er for dårlig og varige deformasjoner blir svært tydelige. Innfestingen avhenger i stor grad av uttrekkskapasiteten til bare den øvre skruen, og varig strekk i denne gjør rekkverket ustabilt. Dette monteringsprinsippet kan ikke anbefales for innfesting med treskruer i treverk.



Figur 53

Prøveoppstilling M. Stolpe festet med bare to skruer i midten av fotplaten

Prøveoppstilling O: Toppmontert stolpe på limtre med bare to festeskruer

Beskrivelse: Prøving av typisk innfesting av toppmontert rekkverksstolpe med bare to skruer i senter av fotplaten i linje med rekkverket. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 39 og vist i Figur 54.

Tabell 39

Prøveoppstilling O

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. 115 mm x 150 mm limtre festet på høykant til enden av bjelkene.
Trevirke	Konstruksjonsvirke gran C24 (tørr) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	2 stk. Simpson Strong-Tie vinkelbeslag ABR9020 (90x90x2,0x65 mm) mellom hver bjelke og limtre. Skrudd med 5,0x40 mm beslagskruer til bjelkene og 4 stk. FAST Treskrue Hex 6,0x100 mm i hvert beslag mot limtre.
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkantør 50 x 100 x 3,2 mm, fotplate 100 x 100 x 20 mm
Innfesting av stolpe	2 stk. WÜRTH Treskrue ASSY 10,0x120 mm plassert langs midtlinjen til limtrebjelken med c/c-avstand 80 mm. En mutter som avstandsstykke under skruhodet grunnet konflikt med sveis.
Belastningshøyde	1 000 mm over limtre og bjelkelag
Andre opplysninger	Posisjonsgivere montert mot limtre ved beslagforbindelsen

Resultater: Nøkkelforhold er gitt i Tabell 40. Prøvingen ble stoppet før 1,2 kN brukslast på grunn av for kort slaglengde i prøveoppsettet.

Tabell 40

Prøveresultater fra prøveoppstilling O

Test nr.	Def. ved ca. 1,0 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Notater
33	175	Ca. 82	Prøving avbrutt. Uttrekk og bøying av skruer og trykkbrudd i limtreet under stolpefoten. Limtreet begynner også å sprekke rundt skruene. Tilnærmet ingen setninger i beslagforbindelsen.

Vurderinger: Løsningen fungerer veldig dårlig. Dette blir som å bruke et 1 m langt brekkjern for å få opp skruene. Anleggsflaten og avstanden fra skruer til kanten av fotplaten er for liten. Treverk tåler heller ikke de store trykkreftene som oppstår. Det ville vært gunstigere om de to skruene i stedet hadde vært plassert på innsiden og utsiden av stolpeprofilen. Men innfesting i treverk med bare to treskruer kan ikke anbefales.



Figur 54

Prøveoppstilling O. Toppmontert stolpe festet med bare to skruer i midten. Stor deformasjon ved 1,0 kN.

Prøveoppstilling P: Toppmontert stolpe på limtre med gjengehylser

Beskrivelse: Prøving av alternativ innfesting av rekkverksstolpe med gjengeinnsatser for treverk tilsendt fra OnLevel. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 41 og vist i Figur 55 og Figur 56.

Tabell 41
Prøveoppstilling P

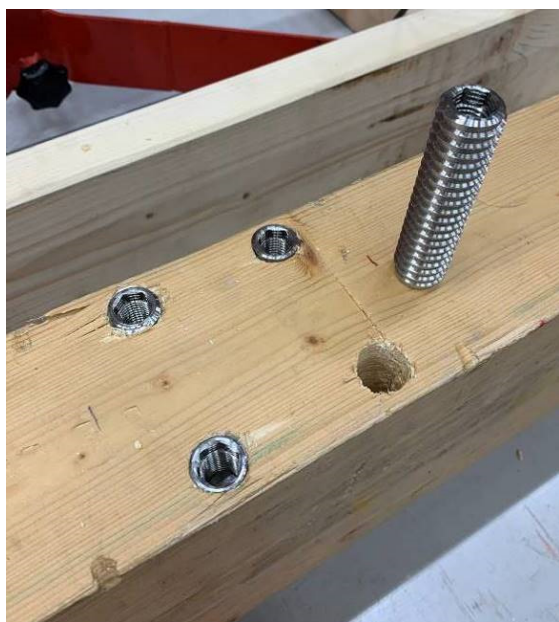
Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	115 mm x 225 mm limtredrager på høykant, plassert i belastningsretningen og forankret til gulvet i hver ende.
Trevirke	Gran limtre Moelven. Lagret tørt innendørs. Fuktinnhold ikke målt.
Sammenføyninger	Ikke relevant
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkantrør 50 x 100 x 3,2 mm, fotplate 100 x 100 x 20 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. gjengehylser for innskruing i treverk M22/M16x100 mm 4 stk. hjemmelaget overgang M16 til M10 gjengestang (fotplaten for liten for M16), skiver og muttere.
Belastningshøyde	1 000 mm over stolpens underlag
Andre opplysninger	Gjengehylser skrudd ned i limtre med innvendig sekskant. Forboret hull med Ø22 mm trebor. Svært tung å montere. Hylser montert litt over limtreets overflate.

Resultater: Nøkkelfullførte er gitt i Tabell 42.

Tabell 42
Prøveresultater fra prøveoppstilling P

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
38	6,7	0,7	3,700	Ved bruddlast er det en gjengestangovergang som ryker i sveisen.

Vurderinger: Stivhet, setninger og bruddlastkapasitet er svært god. Resultatene er bedre enn med 8 og 10 mm treskruer, se test 3 og 4. Trolig ville bruddlasten vært enda høyere om ikke gjengestangen var sveist. Det er gunstig at både strekk- og trykkrefter blir fordelt, uten å trykkbelaste treverkets overflate. Løsningen gir også fordeler for nivellering av stolpen ved montering. Den prøvde gjengehylsen var nok større enn nødvendig og noe upraktisk for montering. Innvendig M8 eller M10 med korresponderende ytre diameter vil trolig være tilstrekkelig i de fleste liknende tilfeller.



Figur 55
Prøveoppstilling P med innskrudd gjengehylser



Figur 56
Stolpe festet med gjengestang, skiver og muttere

Prøveoppstilling Q: Frontmontert stolpe på limtre med spesialbeslag

Beskrivelse: Prøving av spesialbeslag laget for massivtrekonstruksjoner tilsendt fra Sørbo Industribeslag. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 43 og vist i Figur 57 til Figur 60.

Tabell 43
Prøveoppstilling Q

Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 148 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 300 mm utkraging. Pålasket bit av 500 mm lang 48 mm x 148 mm plank. 115 mm x 150 mm limtre festet på høykant til enden av bjelkene.
Trevirke	Konstruksjonsvirke gran C24 (tørr) og gran limtre (tørr)
Sammenføyninger	Pålasking skrudd med 6 stk. 5x90 mm ordinære treskruer. Todelt beslag levert av Sørbo, type UVT60115, 60x115x16 mm mellom bjelker og limtre. Skrudd med 6x100 mm treskruer i endeved og 4,8x35 mm FAST beslagskruer mot limtrebjelke. Monteringsanvisning sier minimum 5x50 mm helgjenget beslagskrue. Det var ikke tilgjengelig ved prøvingen.
Prøvestolpe	Forkantmontert stolpe, stål firkantør 40 x 80 x 3 mm, fotplate 100 x 190 x 10 mm
Innfesting av stolpe	4 stk. WÜRTH Treskrue ASSY 10,0x120 mm
Belastningshøyde	1 025 mm over limtre og bjelkelag
Andre opplysninger	Beslagene er montert opp ned i forhold til monteringsanvisningen fordi det her er frontbjelken som henger på bjelkelaget og ikke motsatt. Beslagsdelen med skråskruer er montert i flukt med nedre kant av endeveden – dette fordi skrå skruer i toppen behøver nok materiale over beslaget. Monteringsanvisning krever egentlig minimum 180 mm høy bjelke, og beslaget skal normalt felles inn i endeveden. Prøver likevel uten fordi nøyaktig utfresing vurderes som urealistisk å få til på en god måte på et eksisterende bjelkelag. Posisjonsgivere montert mot limtre ved beslagsforbindelsen.

Resultater: Nøkkelresultater er gitt i Tabell 44. Stolpen ble gitt et dunk før avlesing av permanente deformasjoner for å løse opp restspenninger. Se også Figur 60.

Tabell 44
Prøveresultater fra prøveoppstilling Q

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]		Perm. def. [mm]		Bruddlast [kN]	Notater
	Stolpe	Beslag øverst nederst	Stolpe	Beslag øverst nederst		
39	52,7	2,30 -0,05	3,5	0,14 -0,03	1,685	Limtreet sprekker opp rett innenfor beslagskruene ved bruddlast

Vurderinger: Stivhet og bruddlast er ikke tilfredsstillende. Bruddlasten hadde trolig vært høyere med lengre beslagskruer inn i limtreet, men stivheten til forbindelsen er uansett for dårlig. Monteringen krever stor nøyaktighet og er sannsynligvis vanskelig å få til over flere bjelker samtidig ved installering på et eksisterende bjelkelag. Beslagene er nok primært utformet for vertikale og horisontale krefter. Kontaktflatene blir for små for momentkreftene som oppstår.



Figur 57
Prøveoppstilling Q. Beslagsdel montert i endevend



Figur 58
Beslagsdel montert til limtre



Figur 59
Låsing av beslag med stikkskrue fra undersiden



Figur 60
Test 39 ved bruddlast

Prøveoppstilling R: Rekkverksstolpe av tre montert etter anvisning i Byggforskserien

Beskrivelse: Kontrollprøving av Byggforskseriens anvisning 536.112 for rekkverk med eksempel for montering av rekkverksstolper av tre (Fig. 52), se Figur 61. Eksemplet forutsetter maks senteravstand mellom stolpene på 0,8 m og brukslast 1,0 kN/m. Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 45 og vist i Figur 62.

Tabell 45
Prøveoppstilling R

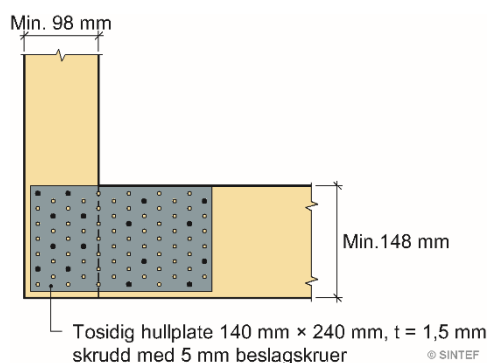
Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av en 48 mm x 148 mm planke med 300 mm utkraging og 48 mm x 98 mm stolpe
Trevirke	Konstruksjonsvirke Cu-impregneret furu C24 (tørr)
Sammenføyninger	Bjelke skrudd fast til underlaget med vinkelbeslag.
Prøvestolpe	48 mm x 98 mm konstruksjonsvirke
Innfesting av stolpe	2 stk. Simpson Strong-Tie hullplater 140 x 240 x 1,5 mm. Skrudd med 4,8x35 mm beslagskruer. 8 skruer i bjelke og stolpe, totalt 32 skruer. Skruer plassert etter Fig. 52 på den ene siden og plassert forskjøvet på den andre siden.
Belastningshøyde	1 025 mm over bjelkelag
Andre opplysninger	–

Resultater: Nøkkelforhold er gitt i Tabell 46.

Tabell 46
Prøveresultater fra prøveoppstilling P

Test nr.	Def. ved 0,8 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
40	17,5	1,3	1,923	Def. ved 1,2 kN er 31,6 mm, til sammenlikning. Første lokale brudd i stolpen ved 1,536 kN. Stolpen sprekker, trolig initiert av en kvist. Skruer, hullplater og bjelke er intakte etter prøving.

Vurderinger: Løsningen ser ut til å fungere tilfredsstillende, også for stolpeavstander på mer enn 0,8 m. En liknende innfesting av stolper i metall kunne trolig fungert bra. Løsningen forutsetter at stolpenes plassering korresponderer med bjelkene, og det er ikke nødvendigvis gunstig for et glassrekkverk – spesielt ikke om det skal monteres på eksisterende konstruksjon.



Figur 61
Eksempel på innfesting av trestolpe til bjelke med hullplate. Bruk beslagskruer 5,0 x 35 eller 5,0 x 40 eller kammede beslagspikre 4,0 x 40 eller 4,0 x 50. Skruene eller spikrene må plasseres forskjøvet for hverandre på hver side. Alternativt forskyves plata 20 mm på den ene siden.
Kilde: Figur 52 og figurtekst fra Byggforskserien 536.112 *Rekkverk* (SINTEF, 2018)



Figur 62
Test 40 ved bruddlast

Prøveoppstilling S: Toppmontert, inntrukket stolpe på 48 mm x 198 mm konstruksjonsvirke

Beskrivelse: Prøving av utformingsprinsipp for tilpasset konstruksjon med toppmontert rekkverksstolpe på bjelkelag, trukket litt inn fra kanten av plattformen, som illustrert av FineHomebuilding (2019). Prøveoppstillingene er beskrevet i Tabell 47 og vist i Figur 63 til Figur 65.

Tabell 47
Prøveoppstilling S

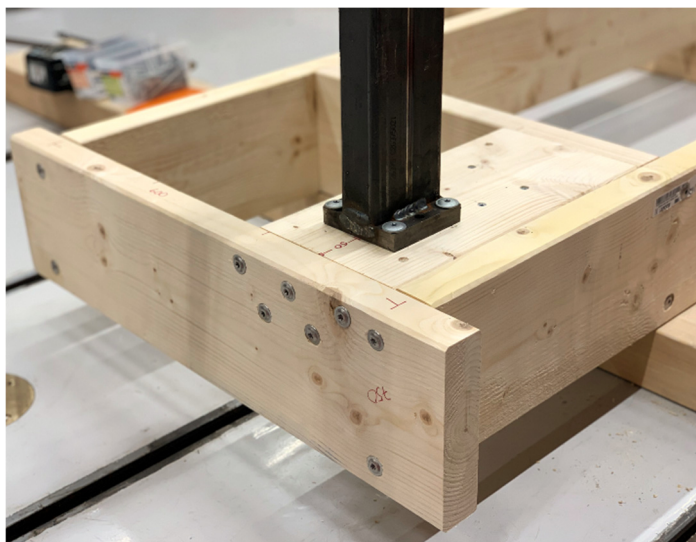
Variabler	Beskrivelse
Konstruksjon	Bjelkelag av 48 mm x 198 mm planker på høykant og c/c-avstand 600 mm. 400 mm utkraging. Planke montert i forkant til bjelkenes endeved. Kubbing plassert mellom bjelkelag med 400 mm avstand til forkantplanken. Dobbel 400 mm lang plankebit på flasken plassert mellom kubbing og forkantplanke, inn mot den ene bjelken og i flukt med bjelkelagets overkant. Alle komponentene bestående av 48 mm x 198 mm planker. Rekkverksstolpe plassert i senterlinjen til den doble planken og 50 mm inn fra forkantplanken (totalt 98 mm mellom fotplate og ytterkant av konstruksjonen).
Trevirke	Konstruksjonsvirke gran C24 (tørr)
Sammenføyninger	Forkantplanke skrudd til bjelkenes endeved med 2 stk. SØRBØ BIG BJØRN 8,0x120 mm (treskruer med stort hode) i hver bjelke. Kubbing skrudd i bjelker med 2 stk. SØRBØ BIG BJØRN 8,0x120 mm i hver ende. Dobbel plankebit skrudd til hverandre med 4 stk. 5,0x90 mm ordinære treskruer, og skrudd til kubbing og forkantbjelke med 5 stk. SØRBØ BIG BJØRN 8,0x120 mm i hver ende, 3 stk. øverst og 2 stk. nederst.
Prøvestolpe	Toppmontert stolpe, stål firkantør 50 x 100 x 3,2 mm, fotplate 100 x 100 x 20 mm
Innfesting av stolpe	Test 41: 4 stk. SØRBØ BIG BJØRN 10,0x100 mm Test 42: 4 stk. Gjennomgående skruer med sekskanthode M10x150 mm, med skiver og muttere. Store firkantskiver mot treverket på undersiden, (50x50x3 mm varmgalvanisert) og store runde skiver for M10.
Belastningshøyde	1 000 mm over bjelkelag
Andre opplysninger	Dobbel planke for stolpefot snudd og skrudd i nye hull for test 42, resten gjenbrukt.

Resultater: Nøkkelforhold er gitt i Tabell 48. Stolpen ble gitt et dunk før avlesing av permanente deformasjoner for å løse opp restspenninger. Se også Figur 66.

Tabell 48
Prøveresultater fra prøveoppstilling S

Test nr.	Def. ved 1,2 kN [mm]	Perm. def. [mm]	Bruddlast [kN]	Notater
41	16,8	2,3	1,622	Uttrekk av stolpeskruer og trykkbrudd under stolpefot ved bruddlast. Resten er uskadd.
42	15,8	1,9	3,302	Begynnende trykkbrudd under stolpefoten ved ca. 1,5 kN. Ved bruddlast trekkes skruene fra forkantbjelken ut av bjelkeendene på én side.

Vurderinger: Stivhet og setninger er akseptable, men bruddlasten blir i underkant med treskruer som stolpeinnfesting. Med gjennomgående skruer fungerer løsningen tilfredsstillende. Det skyldes i hovedsak at momentkreftene fra rekkverksstolpen fordeles over lengre armer enn ved montering av stolpe rett i forkantbjelke. Prinsippet kan benyttes for stolpemontering uavhengig av bjelkelagets senteravstander og kan bygges tilsvarende på bjelkelagets langside ved å skru dobbel plankebit inn direkte mellom bjelkene.



Figur 63
Prøveoppstilling S, test 41. Stolpefoten er trukket 98 mm inn fra kanten og festet med treskruer.



Figur 64
Test 42, med blant annet gjennomgående skruer og store firkantskiver



Figur 65
Prøveoppstilling S, test 42. Konstruksjonen består av 48 mm x 198 mm konstruksjonsvirke og er i hovedsak skrudd sammen av 8x120 mm treskruer med stort hode.



Figur 66
Test 42, ved bruddlast på 3,3 kN

Sikre glassrekkverk

Glassrekkverk er i dag tatt i bruk i stor skala. De er estetisk tiltalende, slipper mye lys inn i bygningen og gir godt utsyn. SINTEF har imidlertid erfart at mange glassrekkverk ikke er sikre nok: De har falt ned, og vi får meldinger om at de oppleves utrygge. Denne rapporten er ment som en veileder, og vi håper den kan bidra til å øke kunnskapen om glassrekkverk i Norge.

Rapporten er resultatet av et partnerfinansiert forskningsprosjekt utført av SINTEF i 2019–2020. Den omhandler krav, prosjektering, ansvarsforhold og dokumentasjon, samt innfesting av glassrekkverk til treverk.

I forbindelse med prosjektet ble det gjennomført 42 laboratorieprøvinger med rekkverksstolper festet til treverk, med ulike innfestingsprinsipper og utforminger av underlagskonstruksjonen. Prøvingene er beskrevet og diskutert i rapporten.