

MASTEROPPGAVE 2012

FAGOMRÅDE:	DATO:	ANTALL SIDER:
IDRETTSGULV	30. MARS 2012	66+4

TITTEL:

Respons av massive tregulv i idrettshaller

Response of floor made of massive wood in sports halls

UTFØRT AV:

Magnus Mellbye Larsen



SAMMENDRAG:

Oppgaven omhandler utforming av idrettsgulv i limtre. På bakgrunn av målinger av støtdempning på et gulv på Snekkeriet i Verdal ble det utarbeidet to testgulv som ble testet hos SINTEF Byggforsk. Det ene testgulvet viste å gi brukbare resultater, men hadde for høy støtdempning, blant annet på grunn av for tykt dempningssjikt. Gulvbord med en tykkelse på 20 mm viste seg å ha for lav bruddstyrke. Fugebåndet med 8 mm tykkelse som ble benyttet til dette gulvet ble også vurdert som for tynt.

Disse resultatene dannet utgangspunktet for en numerisk modell, der det ble gjort ulike justeringer på gulvet for å se hvilke konsekvenser dette ga på nedbøyningen ved belastning. Simuleringene viste at tykkelsen på dempningssjiktet var den mest avgjørende faktoren for nedbøyningen. Konsekvensen av andre endringer som å justere lektavstanden eller endre fasthetsklasse på trevirket ble også evaluert.

På bakgrunn av disse simuleringene ble det foreslått et nytt testoppsett som kan testes i laboratorium. Her benyttes gulvbord med 35 mm tykkelse, lektavstand på 600 mm og en tykkelse på dempningssjiktet på 19 mm. En dempningstykkelse på 25 mm bør også vurderes. Dersom disse testgulvene gir resultater som antydnet i simuleringene, bør gulvet være klart for å kunne realiseres hos en pilotkunde.

FAGLÆRER: Professor Arild H. Clausen

VEILEDER(E): Bjørn Åge Berntsen, Joakim Dørum

UTFØRT VED: Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU

MASTEROPPGAVE 2012

Magnus Mellbye Larsen

Respons av massive tregolv i idrettshaller

(Response of floor made of massive wood in sports halls)

Det er en lang rekke funksjonskrav til golv i idrettshaller. Et golv skal ha tilfredsstillende egenskaper mht. bæreevne, stivhet, dempning, vibrasjoner, friksjon, slitasje, vedlikehold osv. Mange av kravene er hjemlet i overordnede forskrifter for idrettsanlegg eller bygninger generelt. Videre kan ulike brukergrupper, eksempelvis toppserielag i håndball og barne-skoleelever, ha vidt forskjellige preferanser. En naturlig konsekvens er at det eksisterer en lang rekke løsninger for både undergolvet og eksponert flate. Videre er det stor variasjon i pris og egenskaper for ulike konsepter.

I denne masteroppgaven skal kandidaten se nærmere på sportsgolv laget av massivt tre. Dette er en løsning som kan ha et potensiale mht. både funksjonskrav og pris. Det er naturlig at kandidaten primært fokuserer på den mekaniske responsen, dvs. bæreevne, stivhet, dempning og vibrasjoner. Kandidaten skal evaluere disse egenskapene for en typisk golvseksjon i en testtrigg som er tilgjengelig hos SINTEF, og sammenligne den målte responsen med resultatene fra numeriske analyser. Det kan også være aktuelt å foreta en kvalitativ sammenligning av responsen i haller som har ulike golvløsninger.

Målet for oppgaven er å bidra til en evaluering av om massive tregolv er et relevant konsept for bruk i idrettshaller. En masteroppgave vil sjelden gi noe endelig svar, og kandidaten bør derfor også påpeke innenfor hvilke felter det er nødvendig med mer nøyaktige undersøkelser.

Noen stikkord for aktuelle aktiviteter i masteroppgaven er:

- Litteratur: Eksisterende golvløsninger, inkl. fordeler og ulemper. Trekonstruksjoner
- Forsøk: Testtrigg og instrumentering. Tester på golvseksjon, evt. materialforsøk
- Numerisk modellering: Simulering av forsøk. Evaluering av numerisk modell
- Diskusjon: Evaluering av konsept. Sammenligning test – analyse. Feilkilder

Etter samråd med veiledere kan kandidaten konsentrere sitt arbeide til spesielle deler av oppgaven, eller trekke inn andre aspekter.

Besvarelsen skal ha form som en forskningsrapport hvor det legges stor vekt på en klar og oversiktlig presentasjonsform, og den organiseres i henhold til gjeldende retningslinjer.

Veiledere: Bjørn Åge Berntsen, Bjørn Aas, Joakim Dørum og Arild Holm Clausen

Besvarelsen skal leveres til Institutt for konstruksjonsteknikk innen 30. mars 2012.

NTNU, 4. november 2011

Arild H. Clausen
Faglærer

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet av student Magnus Mellbye Larsen ved Ingeniørvitenskap og IKT, konstruksjonsteknikk, NTNU. Oppgaven er avsluttet i mars 2012.

Jeg vil rette en stor takk til professor Arild H. Clausen for kyndig veiledning og gode innspill gjennom hele prosessen. En stor takk går også til Bjørn Åge Berntsen ved Senter for Idrettsanlegg og teknologi for hjelp til å utforme en spennende oppgave, og for å sette meg i kontakt med gode ressurspersoner. Videre vil jeg takke Joakim Dørum for å ha hjulpet meg med å sette meg inn i konseptet idrettsgulv, vært med å utforme gulvkonseptene som har blitt testet, og kommet med tretekniske betraktninger og annen veiledning.

Dessuten vil jeg takke Dag Henning Sæther for opplæring i testmetoder og veiledning gjennom gulvtestene som ble kjørt hos SINTEF Byggforsk, og stipendiat Nathalie Labonotte for verdifulle råd og innspill til modellering av den numeriske modellen.

Magnus Mellbye Larsen

English summary

This thesis is about sports floor of glued laminated timber. Two test floors were built based on the pre-test performed at Snekkeriet, Verdal. These floors were tested at SINTEF Byggforsk, Oslo. One of the floors proved good results, however the damping layer was considered too thick. The other floor proved not to fit the purpose, as the 20 mm thick floorboards were splinted by the test for rolling load. The 8 mm damping material did not provide enough damping.

A numerical model was created, based on the test results. Different adjustments were proposed to see how would affect the deflection of the floor. The simulations demonstrated how the thickness of the damping layer had the most impact of the deflection. The consequences of other adjustments such as changing the distance between the furring strips or changing the strength classes of the wood were also discussed.

Based on these simulations a new test floor setup was suggested. Floorboards of 35 mm thickness were recommended, with distance between the furring strips of 600 mm and a damping layer thickness of 19 mm. A damping layer of 25 mm thickness should also be considered. If these test floors should give results as suggested in the simulations, the floor should be ready to be sold to a test customer.

Innholdsfortegnelse

Forord	V
English summary	VII
1 Innledning.....	1
2 Gulv i idrettshaller	3
2.1 Valg av gulv.....	3
2.2 Historikk.....	4
2.3 Eksisterende gulvløsninger.....	4
2.3.1 Flateelastiske gulv	5
2.3.2 Punktelastiske gulv	6
2.3.3 Kombinerte konstruksjoner.....	7
3 Tre som konstruksjonsmateriale	9
3.1 Limtre	9
4 Pre-testing	11
4.1 Snekkeriet.....	11
4.2 Test for relativ støtdempning.....	11
4.2.1 Testing av gulv på Snekkeriet	12
4.3 Oppsummering.....	14
5 Oppbygning av testgulv	15
5.1 Gulv.....	15
5.2 Lekter.....	15
5.3 Skruer	16
5.4 Dempningsmaterialer.....	16
5.4.1 Armaflex	16
5.4.2 Fugebånd	16
5.5 Behandlingsmetoder	17
5.5.1 Vanlig gulvlakk.....	17
5.5.2 Dansegulv	17
5.5.3 Linolje-miks.....	17
5.5.4 Ubehandlet tre	17
5.6 Testgulv	17
5.6.1 Testgulv 1a.....	18
5.6.2 Testgulv 1b	19
5.6.3 Testgulv 2.....	19

6 Testing av idrettsgulv	21
6.1 Relativ støtdempning	21
6.1.1 Måling av støtdempning.....	21
6.2 Standard deformasjon - nedbøyning.....	23
6.2.1 Måling av deformasjon.....	24
6.3 Roterende friksjon.....	26
6.3.1 Måling av roterende friksjon	28
6.4 Vertikal ballsprett	28
6.4.1 Måling av vertikal ballsprett.....	29
6.5 Evne til å tåle belastninger	30
6.5.1 Måling av belastningsstyrke	31
6.6 Øvrige krav til idrettsgulv	32
6.7 Analyse av testresultater.....	32
6.7.1 Evaluering av testkonsept	32
6.7.2 Forbedring av testkonsept	35
7 Numerisk modellering	37
7.1 Hva er Abaqus?.....	37
7.1.1 Nøyaktighet ved numeriske analyser	37
7.2 Modellering av testgulv i Abaqus	37
7.2.1 Komponenter.....	38
7.2.2 Interaksjon.....	39
7.2.3 Last	40
7.2.4 Randbetingelser.....	40
7.2.5 Elementer	40
7.2.6 Simulering.....	41
7.3 Evaluering av basismodellen	41
7.3.1 Statisk analyse	43
7.4 Analyse av forbedret numerisk modell	43
7.4.1 Tykkelse på Armaflex.....	43
7.4.2 Tykkelse på gulvbord	45
7.4.3 Konstruksjonsklasse på trevirket.....	46
7.4.4 Stående lekter	47
7.4.5 Lektavstand	47
7.4.6 E-modul	48

7.5 Oppsummering.....	48
8 Konklusjon	51
8.1 Anbefalinger for videre arbeid	52
9 Referanseliste	53
Vedlegg A: Estimering av E-modul for Armaflex	i
Vedlegg B: Måledata	i

1 Innledning

Denne oppgaven tar for seg testing av idrettsgulv. Som bakgrunn for oppgaven ligger det et ønske om å utforme et idrettsgulv i massivtre som kan legges i idrettshaller. Et slikt gulv vil være et gunstig valg i flerbrukshaller der de gode bæreegenskapene til massivtre kan åpne for at idrettshallen kan brukes til langt mer enn idrett. Rollag kommune kan tenke seg å være pilotkunde for et slikt gulv. I samarbeid med Green Advisers og Senter for Idrettsanlegg og Teknologi (SIAT) ved NTNU ble det søkt om og tildelt prosjektmidler på 120 000 kr fra Innovasjon Norge til arbeidet med å utvikle et slikt gulv. Dette ga mulighet for testing av ulike gulvløsninger i laboratorium.

Hovedfokus i oppgaven er den mekaniske responsen til gulvet, da med spesielt fokus på støtdempning og nedbøyning. Det har også blitt testet ulike overflatebehandlinger, og diskutert kort rundt overflatefriksjon. Det har ikke blitt lagt fokus på de kravene til idrettsgulv som ikke angår den mekaniske responsen, slik som varmeisolasjon, lysrefleksjon, farger og oppmåling. Her vil andre faktorer ved idrettshallen enn det rent gulvtekniske spille inn, og slike momenter er utenfor omfanget av denne oppgaven.

Datagrunnlaget i oppgaven er resultatene fra testingen hos SINTEF Byggforsk. De ulike kriteriene for idrettsgulv som defineres i dokumentet *Standard anbudsbeskrivelse for golv i idrettsbygg* og Kultur- og kirkedepartementets bok *Golv i Idrettsbygg* (1995) danner rammeverket for tilpasning av en gulvløsning det kan jobbes videre mot å få typegodkjent.

Oppgaven starter med en presentasjon av eksisterende gulvløsninger, og det utledes kort hvilke krav som stilles til et idrettsgulv. Videre presenteres testgulvene som ble testet hos SINTEF Byggforsk. Deretter presenteres de ulike testene et idrettsgulv må gjennom for å bli godkjent, og resultatet fra testingen gjennomgås. En numerisk modell av laboratorietesting presenteres, og benyttes som utgangspunkt for simulering av ulike modifikasjoner ved gulvets oppbygning. Avslutningsvis evalueres disse endringene, og arbeidet rundes av med konklusjon og anbefalinger for videre arbeid.

2 Gulv i idrettshaller

Her presenteres kort om historikk innen utviklingen av idrettsgulv, og det gis en kort oversikt over de ulike typene gulvløsninger som er i bruk i dag, og fordeler og ulemper med disse.

2.1 Valg av gulv

På grunn av de ulike egenskapene som finnes ved ulike gulvløsninger, er det en viktig avgjørelse å velge rett gulv i idrettshaller. Ulike brukergrupper kan ha til dels motstridende krav, og særrettene stiller ulike og spesifikke krav til gulvets oppførsel. Derfor finnes det et sett med generelle krav til gulvets egenskaper utarbeidet av Kulturdepartementet. Disse kravene ble først formulert i heftet "Golv i idrettsbygg", som ble publisert i 1981, og senere revidert i 1987. En tredje revisjon ble utført i 1995, og denne utgaven er fortsatt gjeldende. Samtidig med denne revisjonen ble det utarbeidet en standard anbudsbeskrivelse som skal benyttes i forbindelse med valg av gulv til idrettsanlegg. Alle hallanlegg som søker tildeling av statlige spillemidler er forpliktet til å følge disse kravene. Til tross for at det har skjedd en utvikling på anleggsfronten siden 1995, har det ikke blitt laget noen ny generell publikasjon eller definert noe nytt sett med krav til utbyggere av idrettshaller.

Idrettsutøverne opplever gulvet som kanskje den viktigste bestanddelen av en idrettshall. Riktig respons fra gulvet er viktig for å gi en god følelse ved å utøve idrettsaktivitet, og dårlige konstruksjoner eller materialer kan forårsake skader av akutt karakter eller belastningsskader over tid. Det finnes mange forskningsrapporter om skadeomfang som sammenligner ulike idrettsgulv med til dels sprikende anbefalinger. Foruten tilbakemeldinger fra brukerne er også drifts- og vedlikeholdskostnader en viktig faktor ved valg av gulv. Disse bør være på et nivå som passer overens med idrettslagets eller andre eieres økonomi, og eventuelle reparasjoner bør kunne utføres uten at det medfører for stor pause fra aktiviteten som utføres i hallen.

Ulike brukergrupper vil stille ulike krav til gulvet. Toppåhåndballspilleren vil ønske seg et raskt dekke med god respons ved opphopp for skudd, og være svært opptatt av at friksjonen er slik at man minimerer risiko for blant annet korsbåndsskader ved hurtige vendinger, i taklinger og landinger. Skolebarna som har gymtimer i hallen vil ønske seg et mykt dekke som gir minimale slagskader ved fall og lav risiko for brannskår når man sklir bortover underlaget. Eieren av hallen vil gjerne ha et dekke som tåler belastninger fra større konstruksjoner, stoler og bord slik at hallen kan leies ut til for eksempel messer, konserter og gallamiddager, slik at ekstra driftsinntekter kan hentes inn. Driftsansvarlige vil være opptatt av enkelt vedlikehold og mulighet for å utføre mindre reparasjoner, rengjøring av gulvet må kunne gjøres enkelt uten fare for å ødelegge dekket, mens brukerne igjen vil være opptatt av at gulvets egenskaper skal være så stabile som mulig uavhengig av om gulvet nettopp har blitt pusset eller rengjort.

Eksemplene som er trukket frem viser bare noen av alle aktørene som er involvert i bruk og drift av en flerbrukshall. Ettersom de aller fleste haller som bygges her i landet blir bygget for bruk til ulike aktiviteter, vil tilpasning og tilrettelegging for disse til dels motstridende interessene være et viktig tema i prosjekteringsfasen av hallen. Det er viktig at alle brukergrupper får komme med sine ønsker og at det så langt det er mulig tilstrebes at disse blir møtt. Det finnes mange eksempler på haller der raske avgjørelser har blitt tatt med den konsekvens at brukergruppen raskt kommer med negative tilbakemeldinger og ønske om forbedringer. Samtidig er det ofte et økonomisk aspekt ved valg av dekke. Kulturdepartementet anbefaler i "Golv i idrettsbygg" at idrettens funksjonskrav alltid må være

grunnleggende ved valg av idrettsgulv. Eventuelle spesielle krav i forbindelse med utenomsporslig aktivitet må komme som et supplement og ikke komme på bekostning av idrettens krav.

2.2 Historikk

I november 1955 ble Nordstrandhallen i Oslo åpnet som den første moderne idrettshallen i Norge. Det øvre gulvdekket var fliser av polyvinylklorid (PVC) lagt med gjennombrutte tilfarere. Mellom vinylflisene og tilfarerne lå det trefiberplater. Dette skulle gi forbedrede elastiske egenskaper. Hallen ble primært benyttet til tennis, håndball og boksing, men også større konserter ble også arrangert i hallen. Haller bygget for kroppsøving før 1955 hadde ikke noen spesifikke konstruksjoner for forbedret elastisitet. Det var stort sett gulvløsninger av tre på bærende bjelker eller tilfangere lagt rett på betonggulv. Gulvet i Nordstrandhallen markerte et skille i byggepraksis for idrettsgulv, og det ble rettet mer fokus mot gulvet som idretthallens viktigste bestanddel.

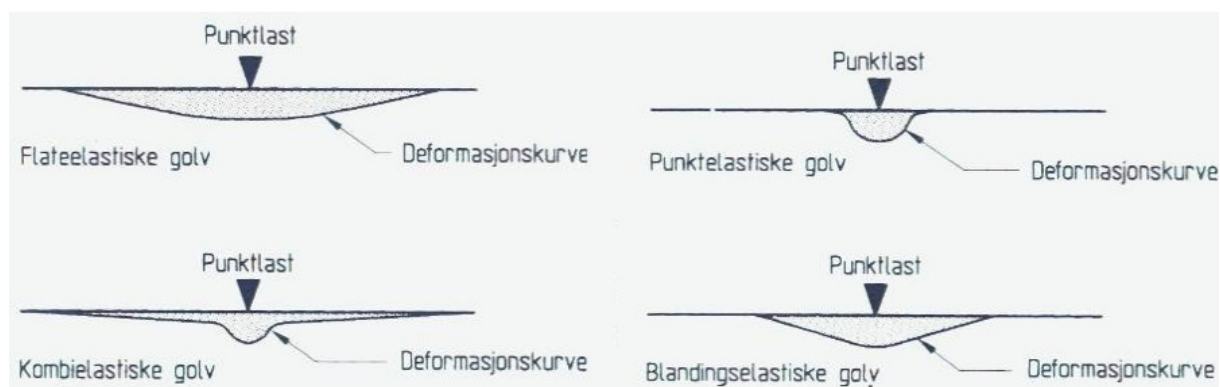
Gjennom 60- og 70-tallet ble det laget retningslinjer for kroppsøvingsrom i skolen fra statens gymnastikkonsuleter. Det ble rettet fokus mot gulvets elastisitet, og hvordan gulvet skulle bygges opp for å oppnå de ønskede egenskapene. Den mest brukte fremgangsmåten var krysslagte tilfarere med gulvbord eller parkett på topp. Belegg av vinylfliser, som i Nordstrandhallen, ble også brukt i relativt stort omfang. Parkett ble stadig mer utbredt i denne perioden.

Tidlig på 80-tallet ble nye kunststoffdekker introdusert i markedet, og økte raskt sin popularitet, på grunn av dets gode støtdempende egenskaper. Den vanligste løsningen her er et polyuretansjikt som ligger over et støtdempende underlag av gummigranulat. Et alternativ som også ble benyttet relativt ofte var et topplag med homogen polyvinylklorid oppå en base av PVC-skum.

De siste 10-15 årene har det kommet nye og forbedrede produkter på markedet, men disse bygger på de samme grunnprinsippene som teknikkene som kom på andre halvdel av 1900-tallet. Kombinerte konstruksjoner har blitt stadig mer utbredt, også i forbindelse med rehabilitering av eldre gulv.

2.3 Eksisterende gulvløsninger

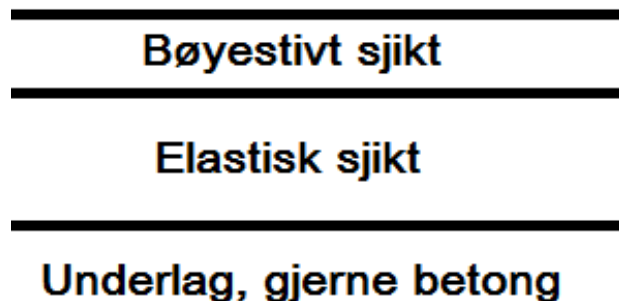
Idrettsgulv som legges i dag kan deles inn i tre hovedgrupper. Disse er flateelastiske, punktelastiske og kombinerte konstruksjoner. Innen den siste gruppen deler vi mellom blandingselastiske og kombielastiske konstruksjoner. Forskjellen i oppførsel illustreres ved nedbøyning i figur 1:



Figur 1: Deformasjonskurver for ulike kategorier gulv, KKD (1995)

2.3.1 Flateelastiske gulv

For flateelastiske gulv ligger et relativt bøyestivt sjikt på en underkonstruksjon med elastisk fjæring. Ved belastning vil den stive platen få en elastisk nedbøyning, og det blir fjæring i den elastiske underkonstruksjonen. Et typisk eksempel på det bøyestive sjiktet er et parkettgulv, som finnes i svært mange idrettshaller i Norge. En prinsippskisse for flateelastiske gulv er vist i figur 2.



Figur 2: Prinsippskisse flateelastisk gulv



Figur 3: Flateelastisk gulv i basketballhall

Flateelastiske gulv har den fordel at de har gode støtdempende egenskaper, spesielt når de utsettes for tunge støt, på grunn av de gode sviktegenskapene. Dette gjør også at gulvet har høy motstandsdyktighet mot store og konsentrerte punktlaster, som for eksempel stolbein og turnapparater.

Flateelastiske gulv har også ofte blitt sett på som et gunstig kompromiss i flerbrukshaller der kravet for sviktdempende egenskaper er viktig, og har også blitt regnet som et prisgunstig alternativ. Kostnadene knyttet til gulv kan gjerne være lavere ved valg av en flateelastisk løsning som for eksempel parkett i forhold til punktelastiske alternativer.

Blant barn som utøver aktivitet på tradisjonelle tregulv, blir overflaten ofte oppfattet som hard. Dette medfører økt risiko for slagskader ved fall. Et annet moment ved valg tregulv er å påse at hulrom i gulvkonstruksjonen fylles med mineralullisolasjon eller lignende, for å forhindre en sjenerende trommelyd som kan oppstå for eksempel når et lag kommer stormende over banen.

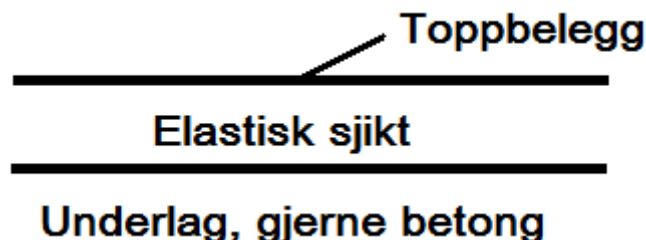
Overbelastning kan føre til lokale brudd og medføre omkostende reparasjoner. Også mindre slitasje og sår i overflaten kan gjøre at gulvet vil kreve stadig pussing og lakking av overflaten. Slik overflatebehandling kan endre gulvets egenskaper og oppleves som uheldig av brukerne. Gulvløsninger med tre stiller også store krav til tilfredsstillende dampsperre for å unngå skader som følge av fuktpåvirkning. En eventuell utvidelse av trematerialet vil kunne føre til kuling og mulig oppsprekning av gulvet, med total utskiftning av gulvdekket som konsekvens. En slik fuktpåvirkning kan også skje ved vasking, men på grunn av den beskyttende lakken vil flateelastiske gulv oppleve langt mindre utfordringer rundt vasking enn hva gjelder for materialene i punktelastiske konstruksjoner.

Tregulv må jevnlig pusses opp og lakkes på nytt. Hyppigheten på vedlikeholdet avhenger av bruksmønsteret i hallen, men det er vanlig at parkettgulv må pusses og lakkes med 2-4 års mellomrom (KKD, 1995). Påføring av lakk påvirker i stor grad friksjonsegenskapene til gulvet, og det er viktig at det gjøres i henhold til anbefalinger fra leverandøren. Gulvet blir slitt ujevnt, og spesielt rundt dører og målområder kan slitasjen være spesielt høy. Dersom det går så lang tid at hele lakksjiktet har blitt slitt bort, kan det være nødvendig med maskinsliping for å få gulvet i

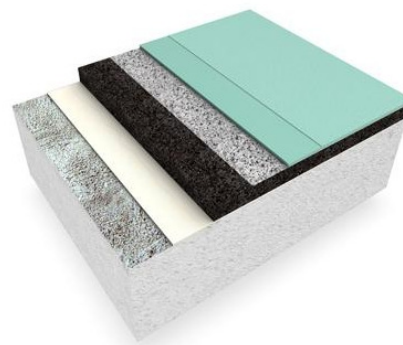
hensiktsmessig stand. Ved sliping av gulvet må det være helt plant med gulvhylsene, da ujevnheter her kan medføre høy skaderisiko for brukerne av hallen.

2.3.2 Punktelastiske gulv

For punktelastiske gulv vil en påført punktlast kun deformere gulvet rett under belastningen. Figur 4 viser en prinsippskisse for et punktelastisk gulv, og i figur 5 er det vist et eksempel på sjiktene i et punktelastisk gulv.



Figur 4: Prinsippskisse punktelastiske gulv



Figur 5: Oppbygning av punktelastisk gulv

Et elastisk sjikt, her i svart, legges direkte oppå hardt underlag, og dekkes med et toppbelegg (lys blå farge). Det lys blå toppdekket er gjerne et todelt sjikt med polyuran, men kan også være et toppbelegg i PVC med polyuretan-impregnering. Det svarte sjiktet er av gummigranulat, og økt tykkelse på dette sjiktet gir økende støtdempnings- og deformasjonsegenskaper (KKD, 1995). Et lag med sparkel, vist i grått på figur 5 kan gjerne ligge mellom disse sjiktene.

En fordel med punktelastiske gulv er at lette støt fra for eksempel albuer og knær dempes bra, og gulvene derfor ofte virker myke og behagelig, noe som er spesielt viktig ved tilrettelegging av aktivitet for de yngste. Tunge støt vil imidlertid dempes dårligere på punktelastiske gulv enn på flateelastiske gulv.

Responsen i det elastiske sjiktet er høy, og ballrefleksjonen er derfor som regel meget god. Dersom overflaten blir for myk, vil imidlertid ballrefleksjonen bli for dårlig. For myke gulv kan også gi en vanskelig utførelse av enkelte idretter, da gulvet kan oppleves som tungt å bevege seg på.

Inntrykksmerker kan lett oppstå ved lokale, konsentrerte laster, og som følge av dette finnes et eget kriterium for motstand mot gjennomlokking som må oppfylles for punktelastiske gulv. I flerbrukshaller kan det være en stor fordel å ha mulighet for å benytte rullende transport, som for eksempel i form av truck, turnapparater på hjul og teleskoptribuner. Slik bruk stiller store krav til kvalitet på det punktelastiske dekket som skal legges.

Mindre, lokale brudd i overflaten gir liten effekt på gulvflaten som helhet, og er enkle å reparere, i motsetning til for flateelastiske gulvet der det kan være nødvendig å skifte hele eller store deler av gulvet ved skader. Dersom det skal tilrettelegges for trening med piggsko, for eksempel ved friidrettstrening, må det velges et toppbelegg av spesiell kvalitet.

Enkelte av disse ulempene kan omgås ved å stive av toppsjiktet med et armeringssjikt og/eller sparkelsjikt mellom toppsjiktet og det støtdempende underlaget. Eksempler på slike materialer kan være glassfibernet og/eller polyuretansparkelmasse.

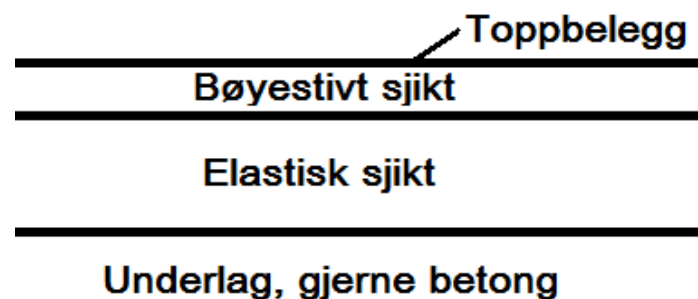
En annen fordel med punktelastiske gulv er det at det ikke vil oppstå trommelyd som følge av hulrom under gulvet.

Kunststoffdekker med et øvre sjikt av PVC trenger vanligvis ikke overflatebehandling. Enkelte beleggtypen med PUR-toppbjikt bør med jevne mellomrom påstrykes polyuretancoating på steder med stor slitasje (KKD, 1995).

Punktelastiske gulvløsninger er gjerne en noe dyrere gulvløsning enn flateelastiske alternativer.

2.3.3 Kombinerte konstruksjoner

For blandingselastiske gulv kombinerer man flateelastisitet med en form for punktelastisitet. Dette kan for eksempel oppnås ved å bruke en glassfiberarmert skive i den punktelastiske konstruksjonen. Ved å kombinere de ulike egenskapene kan man unngå enkelte ulemper som følger av flateelastiske gulv gjennom å utnytte egenskaper fra en punktelastisk gulvtype. KKD (1995) hevder om støtdemping: "Det er viktig å ta hensyn til et barns beskjedne vekt når en skal velge golv. Den ideelle løsningen er et kombinasjonsgolv." Videre argumenteres det med at dette kommer av at flateelastisiteten kan fange opp store belastninger som nedhopp fra apparater, mens punktelastisiteten gjør det behagelig for barn å drive aktivitet på. En prinsippsskisse av et slikt gulv er vist i figur 6.



Figur 6: Prinsippsskisse blandingselastisk konstruksjon

Kombielastiske konstruksjoner er gjerne bygd opp som et flateelastisk gulv med et elastisk sjikt og toppbelegg lagt oppå det bøyestive sjiktet, se figur 7. På denne måten kan man utnytte egenskaper fra både flateelastiske og punktelastiske gulv.



Figur 7: Prinsippsskisse kombielastisk konstruksjon

Dessuten finnes det et marked for mobile gulv, som kan leies inn og benyttes til enkeltarrangementer. Det finnes både flateelastiske og punktelastiske mobile løsninger, og en egen standard anbudsbeskrivelse for slike oppdrag. Dette ses i utgangspunktet på som en nødløsning som generer ekstrakostnader og økt arbeidsbelastning på arrangøren, men kan være aktuelt ved arrangementer der man ønsker stor publikumskapasitet. Et eksempel kan være store internasjonale mesterskap som kan legges til anlegg som Oslo Spektrum og Telenor Arena.

Kostnadene ved legging av idrettsgulv avgjøres i stor grad av materialene og type konstruksjon som benyttes. Det er vanlig å beregne kostnaden til gulv i området 5-7 % av anleggets totale kostnadsramme(KKD 1995). Dokumentet *Standard anbudsbeskrivelse for idrettsgolv* benyttes gjerne til innhenting av tilbud, og gir sammenlignbare priser for prosjekteringsledelsen. For å få utbetalt spillemidler ved bygging av idrettshaller skal utfylt standard anbudsbeskrivelse med priser alltid følge søknaden.

3 Tre som konstruksjonsmateriale

I Norge har tre alltid hatt en sterk posisjon som konstruksjonsmateriale. God materialtilgang, samt enkel frakt og bearbeiding er blant årsakene til at trevirke ofte har blitt valgt som byggemateriale. Aune (1992) trekker også frem andre fordeler med trevirke som den store styrken i forhold til vekten, liten varmeledningsevne og lav elektrisk ledningsevne. Blant de mest fremtredende negative argumentene mot bruk av tre er den høye brennbarheten, og lav motstandsevne mot sopp- og råteangrep. Evnen til å oppta eller avta fuktighet med variasjon i luftfuktigheten skiller også tre fra alternative materialvalg. Krymping og svelling er en viktig faktor ved dimensjonering.

Tre er et anisotropt materiale, med svært forskjellige egenskaper i de 3 akseretninger. Ettersom tre er et botanisk materiale, er det stor spredning i fysikalske egenskaper mellom ulike treslag, men variasjon forekommer også innen samme treslag. Selv på samme trestokk kan det være store variasjoner, avhengig av hvilken del av stokken som benyttes.

Fasthetsegenskapene til tre avhenger av en lang rekke faktorer. Aune (1992) viser til fuktighetsinnhold, belastningens varighet, samt vekstavhengige faktorer som trevirkets densitet, bredde på årringer, fiberhelling, kvist og sprekker som hovedfaktorene som påvirker materialegenskapene.

NS-EN 338 definerer fasthetsklasser for trevirke på tvers av ulike tresorter. Dette gjør at man ved dimensjonering kan benytte fasthetsverdiene innen en bestemt klasse og ikke trenge å ta hensyn til tilgjengelighet og økonomi ved materialanskaffelse. Klassebetegnelse er definert ved karakteristisk verdi av bøyefastheten (5 % fraktilverdi).

3.1 Limtre

Etter NS-EN 1194, er limtre definert som "limte, bærende trekonstruksjoner hvor tverrsnittet er oppbygd av minst fire lameller med tilnærmet parallell fiberretning som ved hjelp av lim er brakt til fullt statisk samvirke."

Limtre har spesielt gode styrkeegenskaper i forhold til vekten, og også den egenskapen at det kan bøyes og formes. Limet gjør at materialet har fullt statisk samvirke. Derfor brukes limtre gjerne i store, bærende konstruksjoner, som for eksempel i Vikingskipet på Hamar. Arkitekter setter gjerne spesielt stor pris på mulighetene til å benytte tre i store konstruksjoner.

Det er flere gode argumenter for bruk av limtre som gulvmateriale. Muligheten for å lime treet med stående årringer gir svært gode styrkeegenskaper. Dessuten er limtre godt nedtørket, noe som gjør gulvet formstabil, og mindre utsatt for kuving. Limtre er et prisgunstig alternativ sammenlignet med kryssfiner som benyttes i parkett.

Carling, Holmestad og Gross (2002) viser til at når lamellene blir limt sammen til større enheter, vil enkeltlamellenes virkesfeil og svakheter bli fordelt over bjelkelengden, og det er svært liten sannsynlighet for at flere enkeltlamellers svakheter vil komme i et og samme limtrevettersnitt. Derfor får vi høyere midlere fasthet og mindre spredning for limtre enn for vanlig konstruksjonstre.

På samme måte som for konstruksjonstre defineres limtre i styrkeklasser. Det finnes egne klasser for henholdsvis homogent og kombinert limtre. Aune (1992) viser til at et limtrevettersnitt kan bestå av

lameller i to forskjellige fasthetsklasser. De ytterste lamellene på hver side bør ha høyere strekkfasthet enn lamellene som ligger i tverrsnittets midtsone, for å oppnå en høy fasthet for bjelken uten unødvendig forbruk av trevirke med høyere fasthetsklasse.

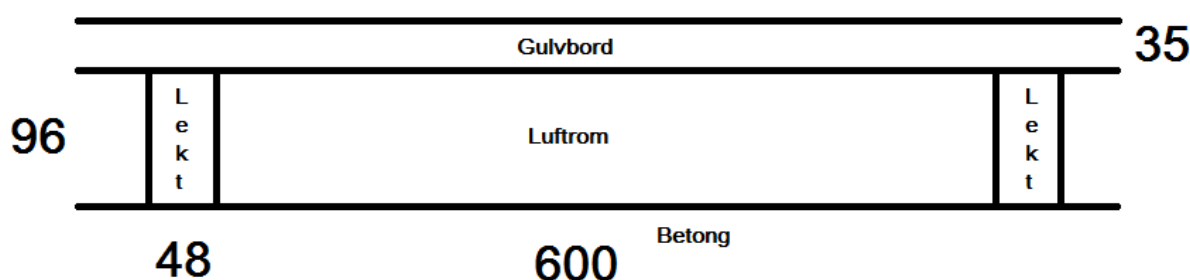
4 Pre-testing

For å hente bakgrunnsinformasjon til å lage et testgulv og sammenligne med gjeldende krav for idrettsgulv, ble det foretatt måling av støtdempning på et tregulv som er lagt på Snekkeriet i Verdal. Måling av støtdempning ble vurdert som et grunnleggende kriterium for å kunne si noe om egenskapene til dette gulvet.

4.1 Snekkeriet

Etter at det gamle Snekkeriet på Verdal brant 2.oktober 2010, ble det gjenbygd på under ett år. Snekkeriet er pr 2012 Norges største industribygg i massivtre. I deler av verkstedhallen er det lagt gulv av limtre. Gulvet er av en slik kvalitet at tyngre maskineri kan settes rett på gulvet, og det tåler slitasje fra røff bruk. Gulvet er en interessant referanse for dette prosjektet, da det skal undersøkes om det er mulig å lage et gulv som oppfyller idrettens krav, der det benyttes limtre og samme konstruksjonsprinsipper som for gulvet på Snekkeriet.

Gulvet på Snekkeriet er en flatelastisk konstruksjon bestående av lekter av gran og gulvbord av furu. Lektene er lagt rett på betongfundamentet, og stående på høykant. Tømmeret i lektene er av klassifisering C18 og har dimensjon 48*98 mm. Senteravstanden mellom lektene er på 600 mm. Gulvbordene er festet til lektene med skråstilte skruer, og lektene ligger løst oppå betonggulvet. Bordene som er benyttet til gulvet er av limtre med 7 lameller pr bord, og bredde på 350 mm. Tykkelsen av gulvbordene er 35 mm, og av fasthetsklasse GL 24c. Tverrsnitt av gulvet slik det ligger i verkstedhallen er vist i figur 8.



Figur 8: Prinsippskisse av gulvet på Snekkeriet

4.2 Test for relativ støtdempning

Hensikten med testen er å måle et dekkets sviktegenskaper. Samme testmetode benyttes for både flateelastiske, punktelastiske og kombielastiske gulv, men kriteriene som skal oppfylles er ulike. Ved typegodkjenning av en ny type dekke vil testingen gjerne utføres i laboratorium, mens alle nylagte gulv skal kontrolleres i idrettshallen før byggherren overleverer bygget.

Gjeldende krav for flateelastiske gulv (KKD 1995):

"Det skal ikke brukes flateelastiske gulv med en støtdempning mindre enn 50 % (middelverdi av minimum fem prøver målt i laboratorium). Innenfor samme golvflate (feltnåling) tillates et avvik i målt enkeltresultat på maks. 5 prosentpoeng fra middelverdien."

Det skal utføres prøver på minst seks punkter. To av punktene velges i området med antatt minst svikt, to i områder med antatt høyest svikt, og to tilfeldig valgt.

Måleapparatet vist i figur 9 består av et fallende lodd på 20 kg som slippes av en elektromagnet. Ved målinger slippes loddet fra en høyde på 55 mm mens to føringsrør styrer loddet slik at det faller ned på en fjær. Fjæren er montert på en kraftcelle. Mellom kraftcellen og gulvprøven legges en stålskive. Signalene registreres på en pc ved hjelp av en signalforsterker, og leses av i dataprogrammet.

Verdi for relativ støtdempning beregnes ved følgende formel:

$$\text{Støtdempning} = \left(1 - \frac{P_{\text{dekke}}}{P_{\text{betong}}}\right) \cdot 100 \%$$

Der

P_{dekke} = Reaksjonskraft målt på aktuelt dekke

P_{betong} = Reaksjonskraft målt på et stivt betonggulv.

I denne oppgaven er P_{betong} satt til 6,39 kN, en verdi som i forkant av testene ble verifisert på betongdekket i prøvehallen ved SINTEF Byggforsk i Oslo.



Figur 9: Måleapparatet stilt opp på gulvet på Snekkeriet

I henhold til SINTEFs instruks skal det utføres tre målinger på hvert punkt som testes. Etter hver måling skal loddet løftes i løpet av 5 sekunder, for å forhindre nedtrykning som setter seg i dempningssjiktet. Gjennomsnittsverdi av målingene benyttes ved beregning av støtdempning.

4.2.1 Testing av gulv på Snekkeriet

Tregulvet i verkstedhallen på Snekkeriet ble testet 28. november 2011. Da hadde gulvet vært i bruk i to måneder. Målingene skulle avdekke hvilke støtdempingsegenskaper dette gulvet hadde, og hvor store tilpasninger som måtte gjøres til modellen vi skulle teste i laboratorium.

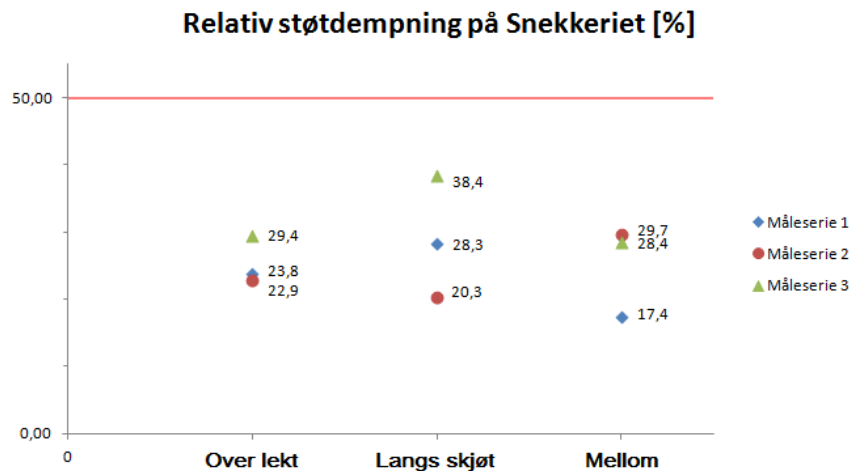
Det ble utført tre måleserier, og hver serie ble utført på ulike soner av gulvet. Innen samme måleserie ble målepunktene valgt innenfor en utstrekning på ca 1 m, med hensyn på om de skulle være over lekt, over skjøt, eller mellom disse punktene.

Av målingene presentert i tabell 1 ses det en relativ høy usikkerhet bak målingen vi har utført.

	Måleserie 1	Måleserie 2	Måleserie 3
Midt på	17,4	29,7	28,4
Over lekt	23,8	22,9	29,4
Over lekt, langs skjøt	28,3	20,3	38,4

Tabell 1: Relativ støtdempning på gulvet på Snekkeriet [i % av støtdempning for betong]

Likevel gir det oss en indikasjon på hvordan gulvet fungerer som helhet. Sammenlignet med idrettens godkjenningskrav om en dempning på minst 50 % for flateelastiske gulv, er verkstedgulvet alt for stivt. Dette er også fremstilt i figur 10.



Figur 10: Relativ støtdempning på Snekkeriet

Dette kan løses ved å benytte ulike dempningsmaterialer mellom betong og lekt, samt mellom lekt og selve gulvet. Måleserie 3 gir oss langt høyere dempning enn måleserie 1 og 2 for målingene som ligger over lekt og langs skjøt. Dette kommer trolig av at betongsjiktet på Snekkeriet ikke er jevnet med samme presisjon som forutsettes for å kunne benyttes som underlag for idrettsgulv. Dette medfører at lekten trolig ligger i luften nær der målingene ble utført. Dette gir en kunstig høy støtdempning i dette området. En slik variasjon i målingene innen et enkelt gulv er ingen problemer for gulvet i en verkstedhall, men overskrider kravet for å kunne brukes som idrettsgulv, ved at en enkeltmåling overskrider grensen på maks fem prosentpoengs avvik fra middelveien.

Måling 1 for punkt mellom lekter er overraskende lavt, og dette kan komme av at målingen ble utført i nærheten av en kvist i treet. Dette kan gi stivere respons i trevirket, og valg av slike testpunkter burde vært unngått.

Ut i fra resultatene over, er det ingen signifikant forskjell mellom måling over lekt, langs skjøt eller mellom disse punktene. Ytre faktorer påvirker i for stor grad resultatene.

Gulvet i verkstedhallen var dekket med sagflis, og til tross for at det under testingen ble børstet småflis av både gulv og utstyr for hver gang utstyret ble flyttet, kan dette ha hatt en liten påvirkning på støtdempningen, slik at dempingen kan ha blitt noe høyere enn da gulvet var nylagt. Gulvet har også blitt benyttet i to måneder siden det ble lagt, og det var enkelte riper og slitasjemerker i gulvet. Det ble forsøkt å velge målepunkter der det ikke fantes slike merker, og det er liten grunn til å tro at dette hadde påvirkning på testresultatene.

Gulvet var også under belastning fra maskineri og pågående arbeid mens det ble testet. SINTEFs testmetoder for testing i laboratorium krever at testingen skal skje midt på et prøvestykke på minst 3,5*3,5 meter. Det ble i feltmålingen fokusert på at det ikke skulle stå maskineri eller passere folk innenfor 2-3 meters avstand fra punktene der testapparatet ble plassert mens målingene ble utført. Det er usikkert i hvor stor grad dette påvirker resultatene, men man kunne kjenne vibrasjoner i gulvet langt utover 2-3 meters avstand når maskineriet gikk. Det ble forsøkt å unngå å gjøre målinger når det tyngste maskineriet var i bruk.

4.3 Oppsummering

Målingene av relativ støtdempning viste stor variasjon avhengig av hvilke steder på gulvet som ble testet. Testingen avslørte et punkt midt på gulvet der dempningen var langt høyere enn forventet, og dette kom trolig av at lekten ikke lå nedpå betongen som følge av at betongen ikke var tilstrekkelig jevnet.

Målingene viste også at gjentatte målinger på samme punkt gir svært godt samsvar, mens vi har et stort avvik mellom de ulike målepunktene på gulvet, også innen samme målingskategori. Dette indikerer at det er andre faktorer ved gulvets oppbygning som påvirker resultatene våre med større påvirkning enn hvorvidt vi måler over en lekt/skjøt eller ikke.

Sammenlignet med kravet om 50 % støtdempning for flateelastiske gulv, viser målingene at dempningen i gulvet på Snekkeriet er for lav. Dette bekrefter forhåndsantagelsen om at det må benyttes et dempningsmateriale under lektene i testmodellen, men testingen ga et godt utgangspunkt for å gjøre antagelser om dette materialet.

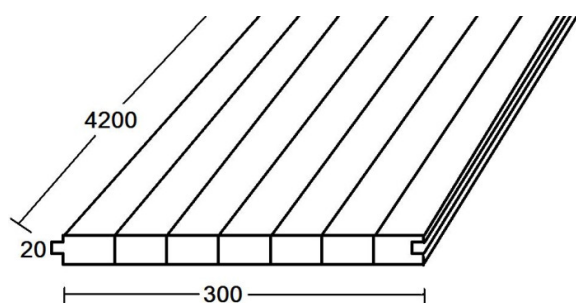
5 Oppbygning av testgulv

Erfaringene fra testingen som ble gjort på Snekkeriet viste at gulvet som kun besto av lekter og gulvbord lagt på et betonggulv ga for stiv respons i forhold til idrettens krav. Sammenlignet med gjeldende praksis for legging av tregulv i idrettshaller var dette som forventet. Det ble derfor bestilt inn noen ulike typer dempningsmateriale som det kunne eksperimenteres med å legge mellom lektene og betongfundamentet.

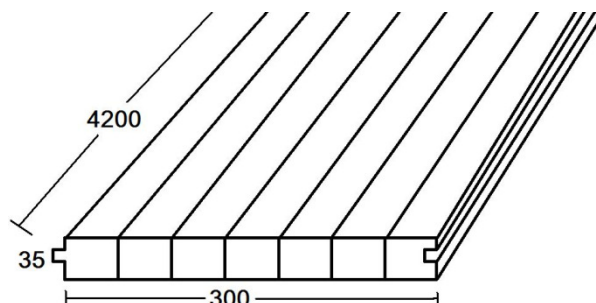
5.1 Gulv

Det ble i samråd med Joakim Dørum i Green Advisers besluttet å gjøre tester på to ulike gulv, med tykkelse på henholdsvis 35 mm og 20 mm. Det ble benyttet limtre av furu med fasthetsklasse GL 24c, levert fra Norsk Limtre i Mosvik. Hvert bord besto av 7 lameller, limt sammen med kaseinlim. Gulvbordene var ikke blitt høvlet, men pusset med sandpapir med grovhetsgrad 80. Trevirket som ble benyttet til å lage gulvbordene ble hentet fra toppstokk, slik at de har friske kvister og jevnere fiberkvalitet enn trevirke fra lenger ned på stokken. Lamellene var orientert med stående årringer.

Begge gulvene besto av 14 bord med en bredde på 300 mm med en lengde på 4,20 m, slik at begge kunne legges som et kvadratisk gulv på 4,2*4,2 m. Bordene hadde not-fjær-forbindelse i lengderetning av bordet. En skisse av gulvbordene er vist i figur 11 og 12.



Figur 11: Skisse av gulvbord med tykkelse 20 mm



Figur 12: Skisse av gulvbord med tykkelse 35 mm

5.2 Lekter

Lektene var på samme måte som gulvet produsert i limtre med fasthetsklasse GL 24c hos Norsk Limtre i Mosvik. Lektene besto av to lameller, slik at det ble ett langsgående limsnitt på hver av lektene. Egenskapene for trevirket i lektene var de samme som for gulvbordene. Lektenes tverrsnitt var på 36*68 mm. Lektene var skåret til på to ulike måter som vist i figur 13 og 14 for tilpasning til dempningsmaterialet som skulle benyttes.



Figur 13: Lekt med innfelt sone for dempningsmateriale



Figur 14: Lekt med skråstilt sone for dempningsmateriale

5.3 Skruer

Gulvet ble festet til lektene med skruer satt normalt gjennom gulvplaten. Det ble satt én skrue i hvert skjæringspunkt mellom lekt og gulvbord. Dette ga en skruavstand på ca 300 mm langs lekten, og ca 690 mm og ca 600 mm avstand i gulvbordenes retning for henholdsvis testgulv 1 og 2.

5.4 Dempningsmaterialer

Flere ulike typer dempningsmaterialer ble testet for å gi bredt analysegrunnlag. I utgangspunktet var det blitt levert en svillemembran, men denne hadde ingen støtdempende egenskaper og ble dermed uaktuell for bruk. Det ble i stedet bestilt inn et fugebånd.

5.4.1 Armaflex

Armaflex er en svært fleksibel cellegummi-isolasjon, og benyttes primært til beskyttelse og isolasjon av rør, kanaler, beholdere og tanker. I henhold til produktspesifikasjonen (Glava 2011) har den høy relativ fuktmotstand og lav termisk varmeledning. Ettersom den har en innebygd antimikrobiell beskyttelse, kan den også benyttes i områder der det lett oppstår fuktighet, som for eksempel til VVS.

For vårt formål er det de støtdempende egenskapene vi er interessert i. Materialet ble levert på rull, med tykkelse på 32 mm, bredde 1 m og lengde 3 m. Dette materialet ble kuttet i 40 mm brede remser, som ble limt til lektene. Den ene siden av materialet var selvklebende, slik det enkelt kunne festes til lektene.

Materialeegenskapene for Armaflex er presentert i kapittel 7.2.1.



Figur 15: Armaflex på rull, (Glava 2011)

5.4.2 Fugebånd

Fugebåndet ble testet ble bestilt fra Jackon. Det er i følge produktspesifikasjonen primært laget for å legges langs vegg ved gulvstøp med tyntflytende masser for å hindre heft til veggen. Fugebåndet er laget av polyetylen, og har også lyddempende egenskaper. Fugebåndet ble levert på rull, og har en tykkelse på 8 mm. Bredden på båndet var 100 mm, men med kuttete riller for hver 10 mm slik at det var enkelt justerbart til ønsket høyde. Rullen inneholdt 50 m fugebånd, og var også utstyrt med en selvklebende rand, slik at det enkelt kunne festes til lekten.



Figur 16: 8 mm fugebånd, Jackon (2012)

5.5 Behandlingsmetoder

Tregulv bør behandles med lakkeringsmidler for å hindre at treet opptar fukt, for å gi en bedre slitestyrke og forebygge misfarging (Aune 1992). Lakkeringen har svært stor betydning for friksjonen av overflaten, og dette er et svært viktig moment i idrettshaller. I denne oppgaven ble det utført testing med fire ulike behandlingsmetoder.

5.5.1 Vanlig gulvlakk

Som eksempel på en standard gulvlakk ble det benyttet Plastofix RF 98, en lakk for overflatebehandling av tre. Lakken påføres en overflate pusset med sandpapir. Dette er et produkt som er mye brukt på gulv i idrettshaller. Produktet består i henhold til sikkerhetsdatabladet for produktet av butylacetat og butanol samt polymer med formaldehyd.

5.5.2 Dansegulv

Kaseinlim består i hovedsak av melkesyre, $C_3H_6O_3$, og kan ofte være tilsatt kalk for å forbedre vannfastheten. Kaseinlim er også et av bindemidlene som kan benyttes i limtre. Limet kan omdanne mykt treverk til hardere overflate på gulv. Det gir en glatt overflate, som blant annet ofte benyttes på dansegulv.

5.5.3 Linolje-miks

Lakkeringsmiddelet består av en blanding av 90 % linolje og 10 % bivoks. Sikkerhetsdatabladet for linoljen (Ramböll 2010) beskriver at produktet består av naturlige triglyserider av oljesyre, linolsyre, linolensyre, palmitinsyre og stearinsyre. Hensikten ved å benytte en slik type lakking på gulvet er svært gode slitasjeegenskaper, og i henhold til Joakim Dørum skal man kunne etterligne noen av effektene fra lakking av tradisjonelle skipsgulv. Det er i motsetning til flere av alternativene som inneholder skadelige løsemidler en svært miljøvennlig behandlingsmetode.

5.5.4 Ubehandlet tre

Denne gulvprøven ble ikke satt inn med lakkeringsmidler. Et slikt gulv ville ikke blitt benyttet i praksis, da slitestyrken ved ikke å behandle gulvet blir for lav.

5.6 Testgulv

Trevarer og dempningsmaterialer ble levert SINTEF Byggforsk for testing medio januar. Dette var noen uker etter planlagt oppstart, en viss forsinkelse oppsto som følge av at testutstyr og trevarer var blitt stående på lager i Trondheim lenger enn planlagt. Dette ga god tid til innhenting av bakgrunnsinformasjon og innføring i testmetoder. Det ble bygget to ulike gulv for testing. Det første gulvet ble testet med to forskjellige variasjoner av dempningsmaterialet, og er derfor definert som testgulv 1a og testgulv 1b. Prosessen med legging av gulv er illustrert i figur 17 og 18.



Figur 17: Leveransen i umontert tilstand



Figur 18: Legging av gulv

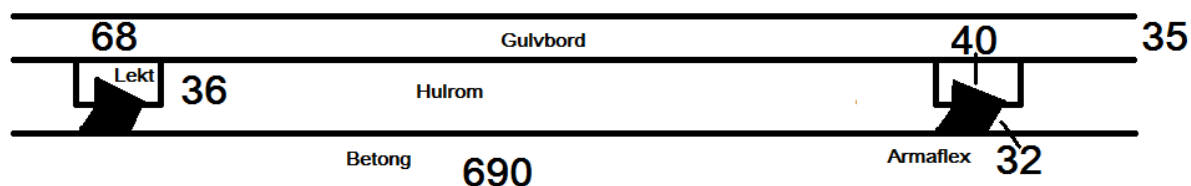
5.6.1 Testgulv 1a

Det første gulvet ble lagt med de tykkeste gulvbordene; tykkelse 35 mm. Under gulvbordene ble det valgt lektene med skråstilt innskjæring, med 32 mm tykk Armaflex limt fast til lektene. Det ble i samråd med Dag Henning Sæther hos SINTEF Byggforsk antatt at den høye tykkelsen på Armaflex-sjiktet ville gi en kraftig dempning. Derfor ble det ønskelig å ha mulighet for å justere Armaflex-sjiktet. Ettersom limet på Armaflex-en viste seg å feste seg for godt til lektene, ble det lagt tape mellom Armaflex-remmene og lektene, slik at det skulle være enkelt å skjære bort noe av dempningsmaterialet.

Lektene ble lagt med 69 cm senteravstand, slik at de fylte bredden på gulvbordene, og gulvet totalt lå på 7 lektar med jevn avstand. Lektene som ble levert var ikke skåret ut i henhold til bestilling, da den venstre siden på innskjæringen av lekten (se figur 19) også skulle vært skråstilt. Dette medførte en inntrykking av dempningsmaterialet rundt dette punktet. En prinsippskisse for testgulv 1a og b er vist i figur 20.



Figur 19: Lekt med 32 mm tykk armaflex



Figur 20: Prinsippskisse testgulv 1a og b

Gulvet ble satt sammen på ca 3 timers effektiv montering. Trevirket var av varierende kvalitet, noe som førte til litt problemer med å få plankene til å passe inn i hverandre. En ca 2 meter lang planke ble benyttet for å slå not-fjær-forbindelsene på bordene sammen. 50 mm lange skruer ble boret vertikalt ned i gulvet da dette var en mer praktisk løsning enn skråstilte skruer, se figur 21. Denne forenklingen ble vurdert til å ha minimal betydning for testresultatene. Ved ferdig lagt gulv ble det observert små sprang i høyden mellom bordene, ved legging av fullskala gulv måtte dette vært høvlet ned. For testhensyn ble det imidlertid i samråd med Dag Henning Sæther hos SINTEF Byggforsk vurdert at dette hadde liten betydning.



Figur 21: Illustrasjon av skråstilt og rett skruer gjennom gulvbord og lekt

Følelsen av å gå på dette gulvet var at det hadde svært mye svikt. Ved lette hopp kunne man kjenne hvordan gulvet ble satt i svingninger, og man kunne også se med det blotte øye observere nedbøyningen av gulvet når man gikk på det.

Tykkelsen med Armaflex gjorde at gulvet ble liggende relativt høyt over betongen. Høyden fra nedre kant av lekten til betonggulvet med belastning fra egenvekten til gulvet ble målt til 16 mm midt på gulvet. Det var derfor ingen risiko for at lektene ved belastning ville slå nedi betongen.

5.6.2 Testgulv 1b

Etter gjennomføring av første runde med tester på gulvet, ble det dempningsmaterialet justert. Gulvet ble heist opp av en kran, og det ble laget to borehull i ytterkant av gulvet som bæreanordningen til kranen kunne festes i. Ekstra skruer ble boret inn rundt disse borehullene slik at gulvet skulle tåle egenvekten ved å bli løftet opp. Deretter ble 2/3 av dempningsmaterialet skåret bort, slik at gulvet beholdt 20 cm lange remser med Armaflex under lektene, lagt med 40 cm mellomrom, som vist på figur 22.



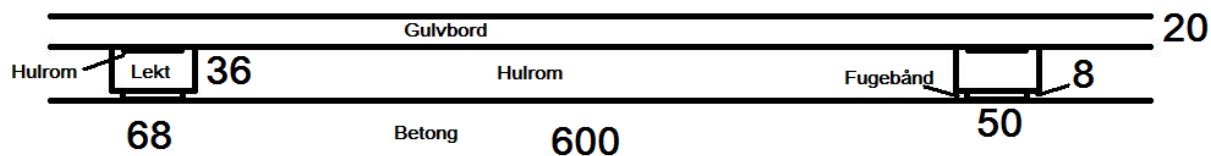
Figur 22: Testgulv 1b med fordelte felter med Armaflex

Den subjektive følelsen ved å gå på gulvet etter at deler av dempningsmaterialet ble skåret bort var omtrent uendret. Svikten i gulvet opplevdes fortsatt å være svært høy.

5.6.3 Testgulv 2

Til det andre gulvet ble bordene med tykkelse på 20 mm benyttet. Her ble gulvet skrudd til lektene med 40 mm skruer, da det var nødvendig å benytte noe kortere skruer for å forhindre at skruene gikk

gjennom gulvet og potensielt kunne bidra til å ta imot støt. Igjen ble det benyttet vertikalt posisjonerte skruer gjennom gulvoverflaten. Lektene hadde et innfelt område for festing av dempningsmaterialet med en bredde på 5 cm og dybde omtrent 4 mm. Da tykkelsen på fugebåndet var på kun 8 mm, ville dette i komprimert tilstand bli så tynt at lektene kunne slå nedi. Derfor ble fugebåndet festet til den plane siden av lekten. Prinsippskisse av testgulv 2 er vist i figur 23.



Figur 23: Prinsippskisse av testgulv 2

Lektene ble denne gangen lagt med 60 cm senteravstand, da det ble vurdert at på grunn av at gulvet var så tynt ville det trolig ville gi for store variasjoner mellom målingene dersom man valgte en høyere senteravstand. Det ble heller ikke lagt fullt ut med gulvbord i lengderetningen, da det ikke var nødvendig for å oppfylle testkravet om en gulvflate på minst 3,5*3,5 meter. Det ferdig monterte gulvet er vist i figur 24. Fugebåndet limt på den plane delen av lekten er vist i figur 25. Forskjellen i fargen kommer av de ulike overflatebehandlingene.



Figur 24: Testgulv 2 montert



Figur 25: Dempningsmateriale på lekt for testgulv 2

Følelsen av dempningen i gulvet når man gikk på det var ikke like markert som for det tykkere gulvet. Ved å gå over gulvet kunne man i enkelte soner av gulvet høre en lett knirking.

6 Testing av idrettsgulv

Hensikten med testingen var å undersøke om kravene til støtdempning, deformasjon, ballsprett, friksjon og belastning ved rullende last ble oppfylt for de ulike gulvoppsettene. Testingen ble utført i perioden 16.januar til 25. januar 2012.

Temperaturen i målehallen var på $19,2 \pm 1,0$ °C ved måletidspunkt, og den relative luftfuktigheten var på $27,5 \pm 2,0$ RF. Dette er utenfor kravet på 23 ± 2 °C med en relativ luftfuktighet på 50 ± 10 RF. Vinterklimaets påvirkning på målehallen gir en viss påvirkning på trevirket, men dette er antatt å være svært små effekter i forhold til faktorene vi ønsker å undersøke, og i videre analyse er det ikke lagt fokus på dette.

For støtdempningstest og deformasjonstest skulle testingen gjennomføres for ulike punkter i gulvet, valgt med to punkter i området med antatt høyest svikt, to i områder med antatt lavest svikt, og to tilfeldig valgte punkter. Som illustrert i figur 26 ble dette gjennomført ved å velge to punkter over lekt (øverst), to punkter over skjøt (venstre), og to punkter vilkårlig valgt mellom lektene, men ikke over skjøt. For målingene over skjøt ble det valgt punkter som ikke samtidig lå over lekt. Før hver måling ble gulvet børstet med kost og lett tørket av for smuss på overflaten, og det ble valgt punkter som ikke lå nær kvister i treet. Alle tester ble utført på målepunkter som hadde en korteste avstand fra nærmeste ende av gulvet på minimum 1,4 m.



Figur 26: Utvelging av testpunkter

6.1 Relativ støtdempning

Prosedyren for oppsett av utstyr og testing av relativ støtdempning er nærmere beskrevet i kapittel 4.2.

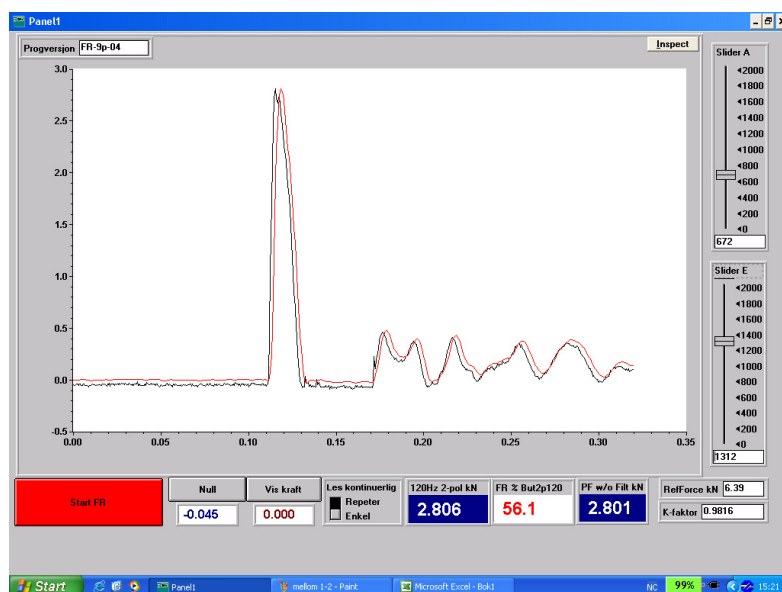
6.1.1 Måling av støtdempning

I forkant av støtdempningstesten ble det gjennomført en referansemåling på betonggulvet, som ga en reaksjonskraft på 6,39 kN. Dette tallet er benyttet som referanse ved beregning av relativ støtdempning.

Prosedyren ved testing var først å slippe loddet, for deretter å gå raskt for å løfte loddet opp for å forhindre at deformasjonen satte seg i dempningssjiktet. Deretter ble det lest av resultater på pc-en, og resultatene ble notert. Videre ble slipphøyden på 5 cm kontrollert med en stålsylinder før en ny måling kunne starte. Denne prosessen ble gjennomført tre ganger før apparatet ble flyttet til et nytt målepunkt. Gjennomsnittsverdien av de tre målingene presenteres i resultatdelen og sammenlignes med krav for minimum relativ støtdempning.

Når loddet ble sluppet ned på underlaget på testgulvene hørtes det en veldig dump lyd, og loddet falt raskt i posisjon, sammenlignet med referansemålingen på betong og målinger på Snekkeriet, der

loddet spratt opp og ned en periode før det falt til ro. Skjermbildet i figur 27 viser kraften fra loddet på testgulvet ved gjennomført slipp på testgolv 1a.



Figur 27: Skjermbilde fra avlesning fra støtdempingsprogrammet

Grafen viser et tydelig kraftutslag på 2,80 kN ved første kontakt med gulvet, og deretter noen små oscillasjoner på omkring 0,5 kN før loddet etter hvert faller til ro. Målingene registreres over opptil 2 sekunder, her er det zoomet inn på resultatene over 0,35 sekunder. Loddet treffer gulvet etter ca 0,11 sekunder, og kontakttiden er på ca 0,02 sekunder. Denne målingen gir en avlesning av relativ støtdempning på 56,1 %, og er hentet fra en av målingene mellom lekt og skjøt.

Gulvet på Snekkeriet hadde en langt lavere støtdempning enn testgulvene våre. Her får loddet mindre refleksjon på testgulvet, og loddet faller følgelig raskere til ro. I tabell 2 er den relative støtdempningen for testgolv 1a presentert.

	Punkt 1 [%]	Punkt 2 [%]	Gj.snitt [%]
Over lekt	56,8	54,3	55,6
Langs skjøt	59,4	56,6	58,0
Mellom	55,7	56,0	55,8

Tabell 2: Relativ støtdempning for testgolv 1a

Resultatene viser at gulvet har høyere støtdempning enn kravet på minimum 50 % for alle målepunkter. Variasjonen mellom målinger ulike steder på gulvet er relativt liten. Det er en svak tendens til at gulvet demper støt i noe større grad over skjøtene. Støtdempningen på testgolv 1b er vist i tabell 3, og gir nesten de samme resultatene:

	Punkt 1 [%]	Punkt 2 [%]	Gj.snitt [%]
Over lekt	54,6	54,1	54,4
Langs skjøt	58,7	58,8	58,8
Mellom	55,9	56,2	56,1

Tabell 3: Relativ støtdempning for testgolv 1b

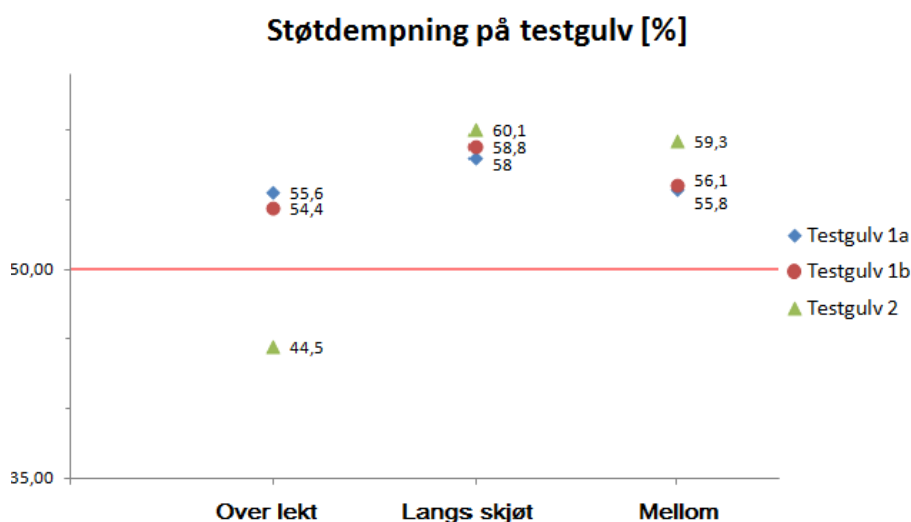
Resultatene viser at støtdempningen i svært liten grad ble påvirket av at mengden Armaflex ble redusert, og gulvet oppfyller fortsatt gjeldende krav for alle punkter som ble testet. Samme tendens til større dempning av støt over skjøtene gjelder også her. I tabell 4 vises støtdempningen for testgulv 2.

	Punkt 1 [%]	Punkt 2 [%]	Gj.snitt [%]
Over lekt	43,4	45,6	44,5
Langs skjøt	59,4	60,9	60,1
Mellom	58,6	60,1	59,3

Tabell 4: Relativ støtdempning for testgulv 2

Dette gulvet har langt større variasjon i målingene avhengig av hvor vi tester. Resultatene viser at dempningen er for stor over lektene. Langs skjøtene og i området mellom lektene og skjøtene gir gulvet akseptabel støtdempning. For feltmåling ville gulvet også strøket på kravet om at ingen måleverdier innen det samme gulvet skal overgå 5 % avvik fra middelverdien.

Fugebåndet ser ikke ut til å gi høyt nok dempningsbidrag når kraften ble påført over lekt. Støtdempningen for alle testgulvene er vist grafisk i figur 28.



Figur 28: Relativ støtdempning på testgulv

Her kommer det frem hvordan alle målingene oppfyller kravet om minimum 50 % relativ støtdempning, med unntak av målingen over lekt for testgulv 2, som gir for lav relativ støtdempning. Dette gulvet med tynnere gulvbord ser ut til å ha en stivere oppførsel over lektene.

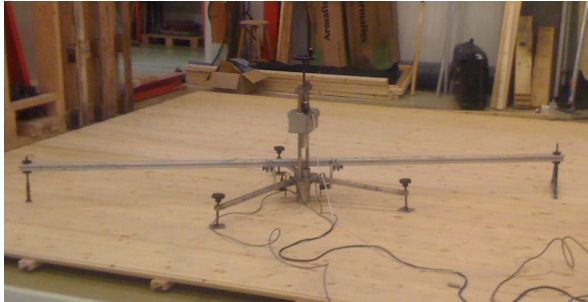
6.2 Standard deformasjon - nedbøyning

Hensikten med metoden er å måle deformasjonsegenskapene til et underlag ved dynamisk støt. Samme metode benyttes i laboratorium og felt. Måleteknikken som benyttes for både punkt elastiske, kombi elastiske og flate elastiske dekker er den samme, men på punkt elastiske dekker kan testen utføres med et mer kompakt utstyrsoppsett.

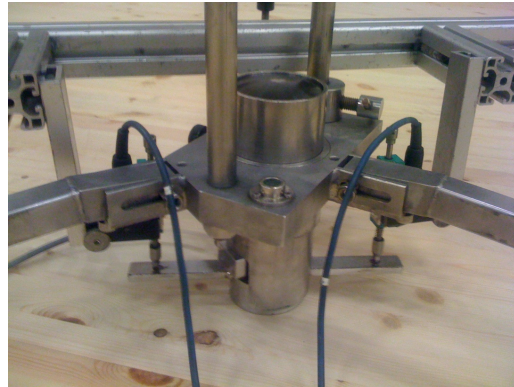
Følgende krav til nedbøyning skal oppfylles (KKD, 1995):

”Standard deformasjon for flateelastiske golv skal være minimum 2,3 mm (middelverdi av minimum fem prøver målt i laboratorium).”

Flateelastiske prøver som skal testes i laboratorium skal på samme måte som for støtdempningstesten ha en dimensjon på minst 3,5*3,5 m. Det skal testes på minimum seks punkter, det skal velges to punkter i områder med antatt minst svikt, to i områder med antatt mest svikt og to vilkårlig valgte punkt.



Figur 29: Måleutstyr for standard deformasjon



Figur 30: Nærbilde av måleapparatet

Apparatet som benyttes for måling av standard deformasjon er i hovedsak det samme for støtdemping og vist i figur 29. Fjæren med kraftcelle som loddet faller på, er dog en annen. Mellom fjæren og gulvet ligger det en stålskive med vinger. En måleramme med påmonterte posisjonsgivere (se figur 30) anrettes slik at givene hviler på hver sin nedsenkede flate på stålvingene. Målerammen som benyttes for måling av flateelastiske golv er 3 m lang. Loddet slippes fra 120 mm, og deformasjonen måles ved hjelp av de elektroniske deformasjonsgivene som sender signaler til pc.

I SINTEFs notat for Standard deformasjon (2008) benyttes følgende fremgangsmåte for vertikal standard deformasjonen StD:

$$StD = \frac{1500}{F_{max}} \cdot d_{max}$$

der d_{max} = maks vertikal deformasjon i mm beregnet fra nullpunktet for posisjonsgivene

F_{max} = maksimal kraft målt i Newton

1500 er reaksjonskraften på betong målt i Newton

Gjennomsnittsverdier for tre målinger av samme punkt angir verdi for nedbøyning i valgt testpunkt, og sammenlignes med kriterium for minimum standard deformasjon.

6.2.1 Måling av deformasjon

Før hver måling ble posisjonen til posisjonsgivene registrert i dataprogrammet. Når loddet ble sluppet ble posisjonen til givene registrert over 2 sekunder, og signaler overført til pc-en. Loddet ble løftet umiddelbart, før avlesninger av data ble utført.

Dataene i tabell 5 viser hvordan deformasjonen på testgulv 1a oppfyller kravet til minimum deformasjon på 2,3 mm.

	Punkt 1 [mm]	Punkt 2 [mm]	Gj.snitt [mm]
Over lekt	4,07	4,27	4,17
Langs skjøt	4,52	4,20	4,36
Mellom	4,12	4,02	4,07

Tabell 5: Deformasjon på testgulv 1a

Det finnes ingen kriterier for øvre grense for flateelastiske konstruksjoner, så gulvet passerer kravet til deformasjon. En deformasjon så langt over bestemt minsteverdi kan imidlertid indikere at gulvet vil få problemer med å oppfylle noen av de øvrige kravene. Målingene viser også at det er relativt små forskjeller i nedbøyningen mellom de ulike målepunktene. Det er en tendens til at gulvet er noe svakere over skjøtene enn for øvrige målepunkter.

I tabell 6 presenteres det hvordan testgulv 1b med redusert Armaflex gir enda høyere deformasjon.

	Punkt 1 [mm]	Punkt 2 [mm]	Gj.snitt [mm]
Over lekt	5,14	5,34	5,24
Langs skjøt	5,74	5,95	5,85
Mellom	5,14	5,83	5,54

Tabell 6: Deformasjon på testgulv 1b

Med verdier opp mot 6 mm er gulvet langt over minstekravet på 2,3 mm. Her er det også en tendens til at gulvet har høyest deformasjon for målinger over skjøt. Resultatene viser at variasjonen mellom ulike målepunkter også har blitt noe større etter at 2/3 av dempningsmaterialet ble fjernet, og gulvkonstruksjonen fikk en langt lavere kontaktflate mot betongen.

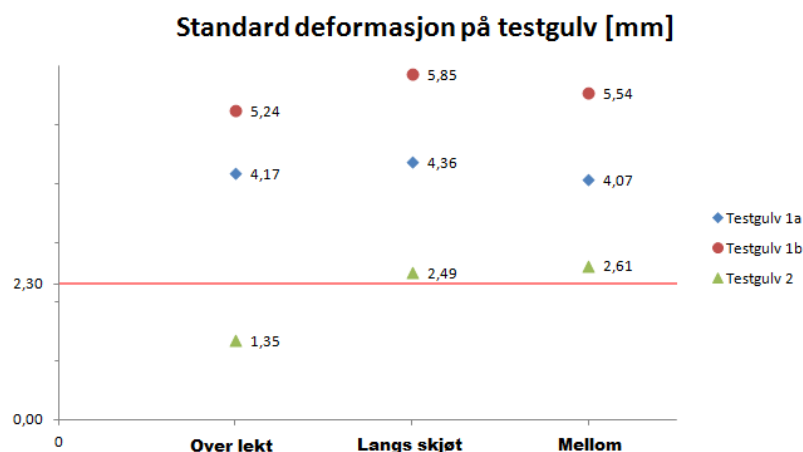
Tabell 7 viser hvordan testgulv 2 ga en svært stor variasjon i deformasjonen mellom ulike målepunkter på gulvflaten.

	Punkt 1 [mm]	Punkt 2 [mm]	Gj.snitt [mm]
Over lekt	1,23	1,46	1,35
Langs skjøt	2,29	2,68	2,49
Mellom	2,49	2,73	2,61

Tabell 7: Deformasjon på testgulv 2.

Måling over lekt gir en deformasjon helt ned i 1,23 mm i ett punkt, noe som er nesten halvparten av minstekravet på 2,3 mm. Den høye variasjonen mellom målepunkter virker å være en konsekvens av et tynt gulv med mye kraft som går rett ned i lektene. Den relativt lange avstanden mellom lektene i forhold til gulvets tykkelse gir uforholdsmessig stor nedbøyning mellom lektene.

Standard deformasjon for alle testgulvene er presentert i figur 31.



Figur 31: Standard deformasjon på testgulv

Resultatene viser at testgulv 1a og 1b gir svært høye verdier for deformasjon. Dette bekrefter den gyngende følelsen det ga å gå på gulvet, og selv om høy deformasjon i seg selv ikke gjør at gulvet feiler på kravet til et idrettsgulv, vil gulv med høy deformasjon møte utfordringer i andre tester.

Testgulv 2 ga en for høy variasjon blant målingene, og verdiene over lekt var alt for lave. Gulvet ble for stivt over lektene, og et materiale med mer demping må benyttes mellom lekt og betong dersom gulvtykkelsen på 20 mm skal opprettholdes.

6.3 Roterende friksjon

Hensikten med metoden er å måle friksjonskoeffisienten for idrettsdekker. Metoden for roterende friksjon med friksjonsapparatet "Gleitmessgerät Stuttgart" utføres kun i laboratorium og tar for seg målinger på et utskåret prøvestykke av aktuelle dekker. Riktig friksjon på et idrettsgulv er svært viktig med tanke på skadeforebygging, men også for den subjektive følelsen av å utøve aktivitet på underlaget.

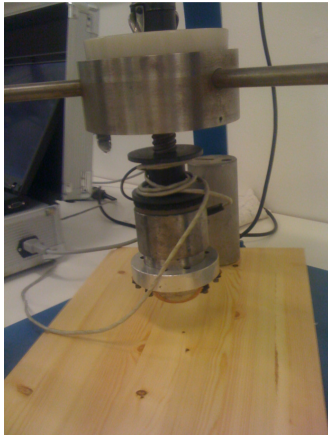
Gjeldende krav for friksjon:

"Det skal ikke brukes golvbelegg med friksjonskoeffisient utenfor området 0,4-0,60 (tørr overflate, middelerdi av minimum fem prøver målt i laboratorium). Innenfor samme golvflate (feltemåling) tillates et avvik i målt enkeltresultat på maks. 0,05 fra middelerdien."

Verdiene er hentet fra *Standard Anbudsbeskrivelse*. "Golv i idrettsbygg" opererer med verdier på 0,45-0,70, men dette er altså ikke lenger gyldig.

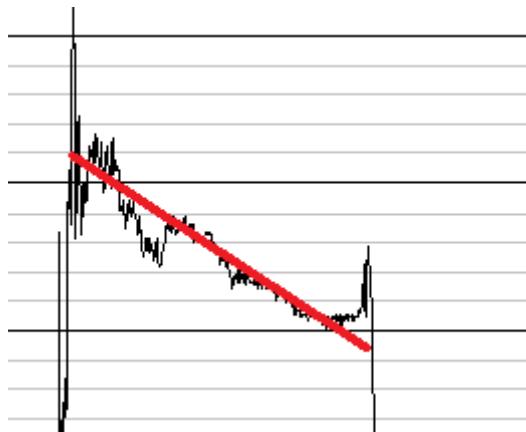
Gulvboka fokuserer også på hvordan rengjøring, behandling av overflaten og slitasje i stor grad påvirker materialeegenskapene til gulvet, både på kort og lang sikt. Derfor stilles det strenge krav til at prøvestykkene skal prepareres og behandles akkurat slik det vil bli gjort i hallen. Anbefalt rengjøringsmetode og vaskemidler skal oppgis fra leverandøren av gulv eller golvbelegg. Dessuten er det svært viktig at lakking, sliping og øvrig vedlikeholdsarbeid på gulvet i hallen blir utført etter samme prinsipp som forhåndsbeskrevet. Blir disse kravene ikke fulgt, kan konsekvensen være at gulvet får et helt annet friksjonstall enn ved forhåndsprøving i laboratorium.

Måleapparatet består av en momentcelle påmontert en lærfot. Momentcellen er montert på en aksel vist i figur 32 med svinghjul og trinse. Rundt trinsen ligger en ledning som er koblet til et lodd. Ved å slippe loddet starter en rotasjonsbevegelse som fører til at lærfoten i figur 33 beveger seg vertikalt mot testflaten. Dette gir gradvis påføring av vertikalkraft mot prøvestykket fra 0 til 200 N. Ved testing i henhold til DIN 18032, som benyttes av SINTEF og beskrives i instruks for måling av roterende friksjon, skal prøvefoten rotere en omgang fra frigjøring av lodd til kontakt med testflaten. Ved kontakt med testflaten blir signaler overført via en signalforsterker til pc.



Figur 32: Nedre del av testapparatet Figur 33: Foten av momentcellen som er i kontakt med prøvelegemet

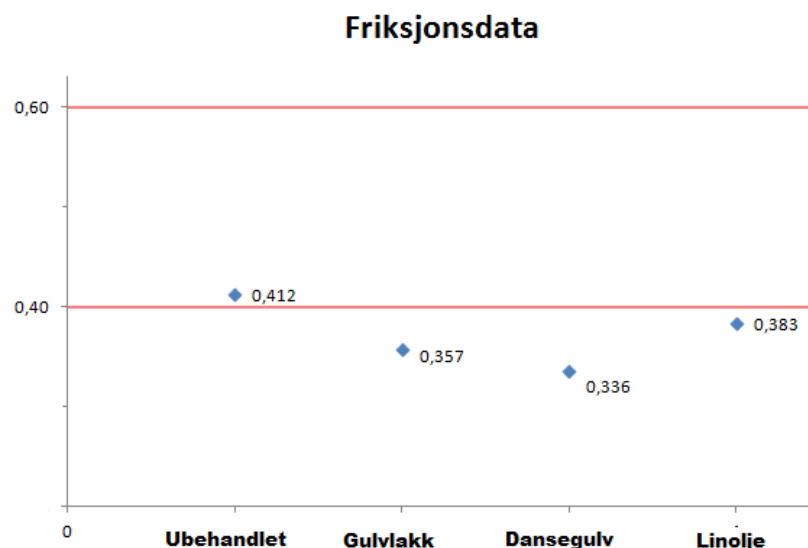
Prøvestykket bør være av en størrelse på 200*200 mm for å passe inn i måleapparatet. Det gjøres i henhold til SINTEFs standarder målinger på tre ulike prøvestykker av det samme materialet. Prøvestykket festes ved hjelp av en klemanordning til måleapparatet, slik at man unngår at testprøven beveger seg ved måling. Prøveområdet skal rengjøres før hver måling, og må være helt tørket. Mellom hver måling skal lærfoten pusses med sandpapir av gradering 100 i rotasjonsretningen. Etter utført måling skal prøveapparatet sveives opp, og deretter låses i posisjon slik at det igjen vil falle én rotasjon før det treffer prøveflaten ved neste slipp. Dataprogrammet viser en graf over registrert moment. Rett friksjonsverdi finnes ved skjæringspunktet mellom startfriksjonen og en linje (markert i rødt) som trekkes gjennom gjennomsnittsverdiene i grafen. Avlest verdi multipliseres med en korreksjonsfaktor 0,473. I figur 34 fra måling på et prøvestykke med linolje-behandling gjøres en avlesning på 0,84, første lys grå strek etter hovedstøttelinjen. Denne målingen gir etter å ha justert for korreksjonsfaktoren et friksjonstall på 0,397.



Figur 34: Avlesning av friksjonstall

6.3.1 Måling av roterende friksjon

Det ble utført to målinger på tre ulike prøvestykker for hver type av overflatebehandlinger, til sammen fire serier med seks ulike målinger. De ulike behandlingsmetodene er nærmere beskrevet i kapittel 5.5. Gjennomsnittlige verdier fra målingene er presentert i figur 35.



Figur 35: Resultater fra friksjonsmåling

Resultatene viser hvordan behandlingsmetodene gir for lav friksjon i forhold til gjeldende krav. Dette er et overraskende resultat, da både gulvlakk og kaseinlim-miksen som benyttes på dansegulv er mye benyttede metoder og burde forventes å gi akseptabelt resultat. I diskusjon med Dag Henning Sæther hos SINTEF Byggforsk kom det frem at lakkerte parkettoverflater har en tendens til å gi for lav friksjon. Forbehandlingen av trevirket bør derfor skje slik at man får en lett profilert overflate.

Målefeil kan være en mulig medvirkende årsak til de noe overraskende resultatene. Metoden ved å lese av gjennomsnittsverdier fra graf kan gi en noe subjektiv oppfatning av hva riktig friksjonstall skal være, men dette medfører en svært liten grad av unøyaktighet sammenlignet med hvor klart disse resultatene avviker fra kravene.

Det ubehandlede treet havner så vidt innenfor gjeldende kriterier. Den subjektive følelsen av å kjenne på gulvtypene tilsa at denne gulvtypen burde ha høyere friksjon enn de øvrige prøvene, da flaten ikke føltes spesielt glatt. Måleresultatene bekrefter at den gir høyere friksjonstall enn for de andre prøvestykkene, men i mindre grad enn antatt.

6.4 Vertikal ballsprett

Hensikten med kontroll av vertikal ballsprett er å måle en gulvoverflates egenskaper for balldempning. En basketball slippes fra gitt høyde, og relativ spretthøyde på testflaten måles mot spretthøyden fra betong. Samme metode benyttes for testing i laboratorium og i felt. Metoden benyttes for både punktelastiske, flateelastiske og kombielastiske gulv.

Følgende krav gjelder for ballrefleksjon (KKD, 1995):

”Ballrefleksjonen for alle typer golv skal være >90 % av spretthøyden for et betonggulv.”

I henhold til SINTEFs testrutiner for vertikal ballsprett (2008) skal målinger gjøres på en testflate på minimum 3,5*3,5 m for flateelastiske og kombielastiske gulv. For punktelastiske gulv klarer man seg med en testflate på minimum 0,5*0,5 m. Det skal utføres prøver i minimum 6 punkter. For gulvflater med varierende sviktegenskaper for eksempel som følge av avstand mellom lekter skal det velges testpunkter som forventes å gi størst mulig variasjon.

Testen utføres ved å slippe en basketball fra en høyde på 1,80 meter. Ved hjelp av en mikrofon koblet til en tidtaker måles tiden mellom to sprett, og spretthøyden finnes ved følgende formel:

$$H = 1,23 \cdot (T - K_1)^2$$

Der H = Refleksjonshøyden målt i meter
 T = Tiden mellom første og andre sprett
 K_1 = 0,025 sek, ballens kontakttid med gulvflaten

I henhold til SINTEFs standard skal medianen fra fem målinger av refleksjonshøyde foretatt på samme punkt i gulvet benyttes videre i beregningene. Deretter finner man den prosentvise refleksjonshøyden ved:

$$R = \frac{H_i}{H_b} \cdot 100 \%$$

Der R = Prosentvis refleksjonshøyde
 H_i = Refleksjonshøyde på idrettsdekket
 H_b = Refleksjonshøyde på betong



Figur 36: Oppstilt utstyr for måling av spretthøyde

Refleksjonshøyden på betong skal tilsvare $1,300 \pm 0,025$ m ved et dropp fra 1,80 m. Et stativ med en justerbar tverrligger på toppen er vist i figur 36 og benyttes for å angi høyden ballen skal slippes fra. Ballen skal slippes uten rotasjon, og dette gjøres enklest ved å krumme fingrene og la undersiden av ballen hvile på fingertuppene, mens hånden føres raskt i vertikal retning når ballen slippes. En mikrofon koblet til en tidtaker føres så nære treffpunktet til ballen i gulvet som mulig, og tiden mellom første og andre gangen ballen treffer bakken noteres.

6.4.1 Måling av vertikal ballsprett

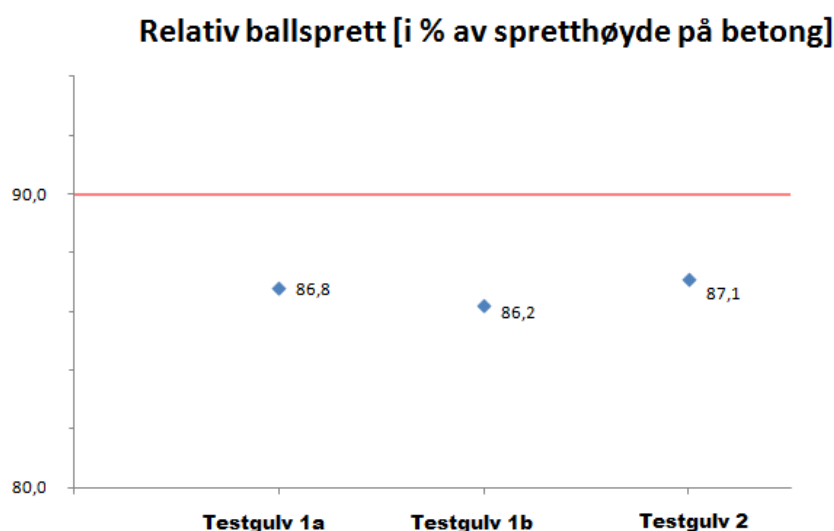
Målingene ble utført på et punkt midt på gulvflaten. Da måling av støtdemping og deformasjon hadde vist at egenskapene for gulvet var relativt like, ble det av praktiske hensyn kun gjort målinger for ett punkt på hvert av gulvene. Dette punktet ble valgt mellom lekter, og ikke over skjøt. Fem paralleller ble utført for hvert testgulv, og medianverdien ble benyttet videre i beregningene.

Ettersom målingene for de ulike gulvene ble utført på ulike dager, måtte nye referanseverdier for spretthøyde på betong beregnes for hver testdag, da noe luft siver ut av ballen over tid, og lufttrykket følgelig måtte justeres. Korrekt fallhøyde for ballen på 1,80 m ble også sjekket før hver måleserie. Det medførte noe utfordring å finne riktig frekvens på signalmottakeren for registrering av spretimpulsen, og det ble konstatert at mikrofonen burde holdes svært nær treffpunktet. Dette medførte at noen målinger måtte forkastes, da ballen traff rett på eller sneiet borti mikrofonen før den traff bakken.

Resultatene for måling av ballsprett er vist i tabell 8 og figur 37.

	Spretthøyde betong [m]	Spretthøyde gulv [m]	Relativ ballsprett [%]
Testgulv 1a	1,292	1,122	86,8
Testgulv 1b	1,307	1,126	86,2
Testgulv 2	1,320	1,150	87,1

Tabell 8: Oppnådd relativ ballsprett



Figur 37: Relativ ballsprett

Resultatene viser at alle gulvene oppnådde for lav ballrefleksjon. Resultatene viser svak tendens til sammenheng mellom spretthøyde og støtdempning. Gulvet med lavest spretthøyde hadde også høyest relativ støtdempning. Det kan virke som at responsen i gulvet ikke blir god nok når støtdempningen blir for høy, og at for mye av den potensielle energien ballen har i fallet blir absorbert. Tilsvarende hadde testgulv 2 lavest støtdempning og høyest relativ ballsprett. Noe overraskende er det at gulvet ikke oppfyller minstekravet til relativ ballsprett, når det heller ikke har høy nok støtdempning. Forklaringen kan ligge i at massen til gulvet blir for lav på grunn av de tynne gulvbordene, og at ballen derfor ikke blir reflektert høyt nok.

6.5 Evne til å tåle belastninger

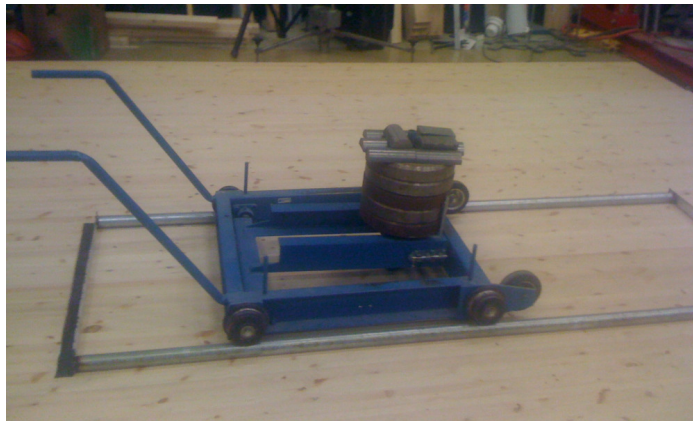
Undersøkelse av bruddstyrke ved rullende last anvendes for å måle belastningen fra rullende hjul, som for eksempel turnapparater eller teleskoptribuner som skal plasseres på idrettsgulvet. Metoden benyttes for alle typer idrettsgulv, men belastningen og kriteriene som skal oppfylles er ulike. Testen utføres nærmest uten unntak i laboratorium, da den ved belastning i grensesonen mot hva som defineres som akseptabelt likevel kan gi små, men varige deformasjoner i gulvet. Testen kalles også trillebårtest, fordi trallen som benyttes ligner på en trillebår.

KKD (1995) definerer følgende krav til bruddstyrke ved rullende last:

"Flateelastiske gulv og kombinerte konstruksjoner skal alle steder tåle en vertikalbelastning på 1,5 kN (150 kp) plassert på et rullende hjul med diameter 100 mm og bredde 30 mm uten at det oppstår brudd, varige deformasjoner eller andre skader."

For punktelastiske gulv benyttes en vertikalbelastning på 1,0 kN, for øvrig gjennomføres testen på samme måte.

Testutstyret består av en sammensveist ramme av stålrør som legges på dekket som skal testes. Figur 38 viser disse skinnene og det tralle-lignende måleapparatet med stålramme og 4 hjul som kjøres på de sammensveiste rørene. En vippearmer med et prøvehjul sentrert på stålrammen er i kontakt med prøveflaten, og ønsket belastning veies opp og plasseres rett over dette prøvehjulet. Prøvehjulet skal være av stål og ha en banebredde på 30 mm med avrundet sidekant.



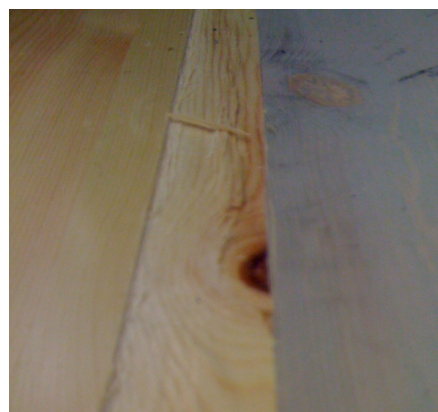
Figur 38: Oppstilt utstyr for måling av hjulbelastning

Det velges et testområde på 0,80*0,10 m, og innenfor dette området skal trallen beveges frem og tilbake 300 ganger. Det bør velges antatt mest kritiske områder, som langs skjøt eller ved not-fjærforbindelse. Deretter gjentas testen med belastningssone orientert 90 grader i forhold til det første belastningsområdet. Det bør velges belastningsflater som ikke overlapper hverandre. Etter gjennomført test kontrolleres prøveflatene for skader. I henhold til SINTEFs standard for måling av belastning for rullende tribunehjul (2008) skal det ikke oppstå skader eller varige deformasjoner større enn 0,5 mm. Dersom slike skader forekommer undersøkes inntrykningen på nytt etter 15-20 minutter. Et digitalt måleutrustet festet til en fot ble benyttet for å måle slitaskaden på gulvet.

6.5.1 Måling av belastningsstyrke

Trillebårtesten på gulvet med 35 mm tykkelse ble utført etter at vi hadde skåret bort 2/3 Armaflex, da det var mest hensiktsmessig å utføre de øvrige testene på et uskadet gulv. Den første belastningsflaten ble valgt slik at det ble kjørt 150 ganger på henholdsvis venstre og høyre side av en skjøt. Det ble et markert spor langs randen på testsonen, der hjulkanten hadde kjørt i samme spor mange ganger. Den største høydeforskjellen innen sonen som ble målt var 0,47 mm, det vil si marginalt innenfor kravet om mindre enn 0,50 mm deformasjon. Det skal sies at det er en liten usikkerhetsmargin her, da kvaliteten på gulvet var slik at det var mindre høydeforskjeller langs skjøtene også før testingen. Disse burde vært notert i forkant. Testsonen ble valgt slik at den ene delen av sonen var på ulakkert gulv, mens den andre delen var på lakkert område. Det var ingen markert forskjell på hvordan gulvet var blitt slitt avhengig av om gulvet var lakkert/ulakkert. Testen ble deretter gjentatt vinkelrett på skjøten, altså i samme retning som lektene lå. Høyeste forskjell langs sonen ble da målt til 0,35 mm, og ga jevnt over noe mindre deformasjoner enn langs skjøten.

For gulvet med 20 mm tykkelse ga gulvet tydelig knirking og små knekkelyder allerede ved første overkjøring. Etter 150 repetisjoner hadde det blitt et tydelig hakk langs kanten av hjulsporet, og som vist i figur 39 hadde gulvet flist seg opp en rekke steder. Høydeforskjellen ble nå målt til 1,85 mm på det meste, langt over kravet på under 0,50 mm. Da gulvet var langt unna å tilfredsstille de gjeldende krav, ble det ikke testet i sone vinkelrett på skjøt.



Figur 39: Synlige skader i gulvet

6.6 Øvrige krav til idrettsgulv

Det finnes en rekke andre krav til flateelastiske idrettsgulv som ikke er omfattet av disse testene. Dette omfatter blant annet krav til overflate og lysrefleksjon, oppmerking, planhet, varme- og lydisolasjon. Disse er nærmere behandlet blant annet i heftet "Flerbrukshaller" gitt ut av Kirke- og Kulturdepartementet. Det nevnes her kort at det ved prosjektering av idrettshaller også må legges til rette for at disse skal oppfylles, for videre detaljer henvises det til øvrig litteratur.

6.7 Analyse av testresultater

På bakgrunn av resultatene fra gultestingen hos SINTEF Byggforsk evalueres gulvets egenskaper mot de ulike godkjenningskriteriene for idrettsgulv. Videre diskuteres det kort hvordan forbedringer på testgulvet kan gjøres i den numeriske modellen.

6.7.1 Evaluering av testkonsept

Tabell 9 viser en skjematisk fremstilling av hvordan testgulvene klarte seg på de ulike testene.

	Testgulv 1a	Testgulv 1b	Testgulv 2
Støtdempning	OK	OK	-
Standard deformasjon	OK	OK	-
Vertikal ballsprett	-	-	-
Rullende belastningsstyrke	OK	OK	-

Tabell 9: Oversikt over testresultater

Som det går frem av tabellen var det ingen av testgulvene som umiddelbart passerte alle testene. Testgulv 2 strøk på alle testene som ble utført, mens ingen av testgulvene klarte å oppfylle kravet til vertikal ballsprett. Tabell 10 viser at bare en av behandlingsmetodene klarte testen for friksjon.

	Ubehandlet	Gulvlakk	Dansegulv	Linolje
Roterende friksjon	OK	-	-	-

Tabell 10: Resultater friksjonstest

En av hovedårsakene til at testgulv 2 feilet på alle testene, er for stor variasjon i gulvets egenskaper avhengig av hvor på gulvet testene ble utført. For både deformasjon og støtdemping er resultatene mellom lektene innenfor kriteriene, mens det gir for stiv respons over lektene. Dette kommer av gulvbordenes tykkelse på kun 20 mm, kombinert med senteravstanden på lektene på 600 mm. Dersom avstanden mellom lektene ble redusert ville trolig konsekvensen vært mindre avvik mellom målingene, men samtidig ville det vært sannsynlig at gulvet fortsatt ga for stiv respons. Derfor måtte

det vært kompensert for dette ved å bruke et mykere dempningsmateriale enn fugebåndet som ble benyttet.

Resultatene fra testen for rullende belastningsstyrke viste at gulvet begynte å flise seg opp etter bare noen få repetisjoner, og ødeleggelsene på gulvet ved fullført test var så omfattende at det er ingen grunn til å tro at en lavere senteravstand mellom bjelkene vil være nok til å få gulvet gjennom denne testen. Dersom en skal laget et idrettsgulv der gulvtykkelsen på 20 mm skal opprettholdes, må det benyttes et trevirke med langt høyere stivhet enn furu-bordene som er benyttet til dette testgulvet.

Testgulv 1a ga svært gode resultater på støtdempningstesten. Alle målingene ga en relativ støtdempning på mellom 54-60 %, altså høyere, men ikke langt høyere, enn minstekravet for flateelastiske gulv på 50 %. Underveis i testprosessen ble det spekulert i om denne overskridelsen kunne medføre at gulvet ville få problemer med å klare kravet om standard deformasjon, men det viste seg å være ubegrunnet. Gulvet hadde svært høy nedbøyning, fra 4,00-4,60 mm i ulike målepunkter. Dette er opp i mot det dobbelte av minstekravet, men da det ikke finnes noe øvre kriterium for hvor mye deformasjon som tillates i flateelastiske gulv, er dette formelt sett ikke noe problem. Hvorvidt så høy deformasjon i gulvet påvirker den subjektive følelse av å utøve aktivitet på gulvet, er et annet spørsmål, og utenfor omfanget av denne oppgaven.

Som et forsøk på å redusere nedbøyningen ved belastning, ble det som beskrevet i kapittel 5.6.2 fjernet en del av dempningsmaterialet, for deretter å gjennomføre de samme testene. Resultatene på testgulv 1b ga imidlertid et annet resultat enn antatt. Støtdempningen forble tilnærmet uendret, mens deformasjonen ble høyere enn for testgulv 1a. Rent formelt klarer gulvet fortsatt de samme testene som testgulv 1a, men verdiene vi fikk var lenger unna optimalt resultat. Denne modifikasjonen viste seg dermed å være et blindspor.

Det at støtdempningen forble tilnærmet uendret til tross for at det ble gjort endringer på dempningen, kunne indikert at gulvbord-sjiktet sannsynligvis gir størst påvirkning på responsen fra støt. En sammenligning mellom resultatene fra støtdempningen på testgulv 1a og b og gulvet fra Snekkeriet på Verdal viser at dette likevel ikke er tilfelle. På Snekkeriet der lektene ligger rett på betongen ble den relative støtdempningen målt til å ligge på 20-30 %, mot 54-60 % på testgulv 1a og b. Denne forskjellen er langt større enn forskjellene mellom noen av testgulvene. Det skal legges til at gulvet på Snekkeriet har en senteravstand på 600 mm mot 690 mm på testgulv 1a og b, og at det er benyttet stående lekter, men dette er i seg selv ikke nok til å forklare forskjellen.

Derimot ligger forklaringen trolig i at det for både gulv 1a og b var en uutnyttet kapasitet i dempningsmaterialet. Siden det var et mindre kontaktareal med Armaflex mot betonggulvet for testgulv 1b, gir dette gulvet høyere deformasjon, siden Armaflex-sjiktet blir mer komprimert. Støtdempningen ble likevel tilnærmet den samme for begge gulvene, siden Armaflex-sjiktet er tykt i forhold til kraften den blir utsatt for. På gulvet på Snekkeriet var det ingen materialer med en slik ekstra dempningskapasitet, og derfor ble den relative støtdempningen langt lavere, selv om gulvbordene var av samme type.

Den høye deformasjonen i gulvet kan være en årsak til at gulvet ikke klarte testen for ballsprett. Målingene på testgulv 1a og b viste en svak tendens til korrelasjon mellom standard deformasjon og relativ ballsprett. Forskjellen i ballsprett mellom gulvene var imidlertid svært lav, og svarte til en refleksjonshøyde på ca 1 cm ved dropp fra samme høyde. Det kan på bakgrunn av målingene som ble

gjort bare spekuleres i om gulvet ville vært nærmere å oppfylle kravet til ballsprett dersom man gjorde endringer i gulvkonstruksjonen som reduserte standard deformasjon ned mot minstekravet på 2,3 mm.

Noe overraskende var det at heller ikke testgulv 2 klarte kravet til ballsprett, til tross for at dette gulvet hadde langt lavere deformasjon, og at støtdempningen var omtrent uendret. Dette kan indikere at et gulv må ha lavere relativt støtdempning enn gulvene som har blitt testet i denne oppgaven for å klare kravet til ballsprett. Samtidig er det relativ liten margin fra en støtdempning på 56-60 % før man underskriver minstekravet på 50 %. Derfor er det lite trolig at man ville klart å oppfylle kravet om 90 % relativ ballsprett dersom man skal holde støtdempning og deformasjon innenfor gjeldende krav. En mulig årsak kan ligge i trevirket, og at det bør benyttes et mindre mykt treslag dersom man skal oppnå ønsket ballsprett. Et annet spørsmål det er naturlig å stille er hvorvidt kravet til ballsprett oppfylles på flateelastiske gulv som ligger i norske idrettshaller i dag, eller om det er egenskaper i punktelastiske gulv som gjør det enklere å oppfylle dette kravet.

Bruddstyrken ved rullende last på testgulv 1 ga et resultat som var marginalt innenfor gjeldende kriterium. Det kan stilles spørsmål ved om nøyaktigheten ved gjennomføringen av testprosedyrene var så gode at man kan garantere at gulvet vil passere kriteriet ved ny testing. Trillebårtesten ble utført på testgulv 1b, og det medførte trolig noe større slitasje på gulvet i denne testen enn om den ble utført på testgulv 1a, på grunn av den høyere standard deformasjonen. Egenskapene ved gulvets lakking vil også påvirke graden av slitasje. På 35mm-gulvet ble testen utført i grensesonen mellom to bord av ulik type lakking (henholdsvis vanlig gulvlakk og ulakkert), men det var ingen markert forskjell mellom slitasjen på de to ulike overflatene.

Kun det ubehandlede gulvet ga en friksjon innenfor godkjente verdier på 0,4-0,6. Ettersom det var en slik systematisk bom på intervallet, er det grunn til å tro at forbehandlingen av gulvprøvene burde vært gjort annerledes. Dersom gulvet pusses med et grovere sandpapir før overflatebehandling gir det en mer porøs overflate og følgelig høyere friksjon. Dag Henning Sæther ved SINTEF Byggforsk hevdet at parkettløsninger har en tendens til å få lave friksjonstall, spesielt når flatene er nylakkerte. Som følge av dette bør legges en tekstur i overflaten før gulvet overflatebehandles. I et internt notat av Bjørn F. defineres lavfriksjonsgulv som løsninger med friksjonsverdier på 0,45-0,50, og dette anbefales som det ideelle valget for idrettsgulv. Ettersom målingene ga friksjonstall mellom 0,33-0,39, er det relativt små justeringer på gulvet som må gjøres før friksjonen havner innenfor ideelt intervall.

For å få mer relevante svar fra testing i laboratorium, burde det vært gjort et grundigere arbeid i utformingen av testgulvene. Dersom det hadde blitt utført en mer omfattende materialanalyse i forkant, burde det kanskje vært mulig å velge en tynnere Armaflex-løsning enn den som ble valgt. Hadde arbeidet med en numerisk modell vært gjort i forkant av gulvtestingen, og ideelt sett vært basert på en modell som ga kjente resultater fra tidligere utført testing, kunne det vært foreslått mer relevante gulvløsninger for testing i laboratorium.

Feil ved utskjæringen på lektene bidro til å gjøre resultatene på testgulv 1 mindre relevante enn de kunne vært. Dårlig kommunikasjon ved bestilling av dempningsmateriale førte også til at det ene produktet som fulgte forsendingen aldri skulle vært levert. Dette ble imidlertid reddet inn ved at vi fikk tak i et alternativt produkt med lignende egenskaper.

Sett i lys av dette må det likevel nevnes at noe av hensikten med testgulv var å gi svar på hvilke løsninger som kunne fungere og ikke, så selv om ikke alle løsningene som ble prøvd ga like positive målinger, kunne det bidra til å utelukke noen løsninger, og rette fokus mot løsninger som kan justeres mot en god gulvkonstruksjon. Måletallene fra laboratorieforsøket ga et godt utgangspunkt for numeriske simuleringer av mulige forbedringer.

6.7.2 Forbedring av testkonsept

Testresultatene viser at testgulv 1a er relativt tett på å kunne godkjennes som idrettsgulv. Relativ støtdempingen og standard deformasjon passerer de gjeldende krav, men ballsprekken er for lav. Dette er trolig en konsekvens av at standard deformasjon er langt høyere enn minstekravet. Derfor ville det vært spennende å gjøre målinger på et gulv med 35 mm tykke bord, men med et tynnere lag Armaflex enn det som har blitt benyttet i testoppsettet. Armaflex leveres også i tykkelse på 13, 19 og 25 mm, og det vil trolig gi bedre resultater å benytte en av disse.

Beregningene av E-modul for Armaflex viste at materialet har en ikke-lineær deformasjonskurve. Derfor har det blitt valgt ikke å gå videre med skråstillingen av Armaflex under lektene, da det å oppnå denne gradvise dempningen var ett av hovedargumentene for å velge et slikt testoppsett.

Testgulv 2 ga ikke noe entydig svar på hvorvidt fugebåndet er egnet som dempningsmateriale, da det antas at det var tykkelsen på gulvet som var hovedårsaken til at gulvet strøk på de gjeldende kriteriene. Ettersom fugebåndet har en tykkelse på 8 mm i udeformert tilstand, og dette skal først gis en initiell kompresjon som følge av gulvets egenvekt, for deretter utsettes for en kompresjon på minimum 2,3 mm, er det høy risiko for at dempningsmaterialet blir for tynt. Dette kan medføre at trevirket kan slå ned i betongen, spesielt etter en tids slitasje. For videre testing anbefales det derfor å velge et noe tykkere dempningsmateriale.

7 Numerisk modellering

I dette kapittelet presenteres simuleringen av testgulvet i Abaqus, fra oppbygning av basismodell til resultater fra testene. Formålet med den numeriske modellen var å se hvilke konsekvenser justeringer av ulike parametre ved gulvkonstruksjonen får for nedbøyningen ved testing av standard deformasjon.

7.1 Hva er Abaqus?

Abaqus er et simuleringsprogram basert på elementmetoden. Programmet kan benyttes for å løse alt fra enkle lineære analyser til kompliserte ikke-lineære problemer. Resultatene som kan hentes ut strekker seg fra spenninger og forskyvninger i en konstruksjon til varmeoverføring, vindlaster, akustikk med mere.

I Abaqus-dokumentasjonens kapittel 2 fremgår det hvordan en komplett Abaqus-analyse vanligvis består av tre adskilte faser: Forbehandling, simulering og etterbehandling. I forbehandlingen defineres modellen til det fysiske problemet og lager en Abaqus input fil. I simuleringen løser Abaqus det numeriske problemet definert i modellen. Eksempler på resultater fra en spenningsanalyse kan være forskyvninger eller spenninger. Beregningene kan ta fra sekunder til dager avhengig av kompleksiteten til problemet som analyseres og beregningskraften til datamaskinen som benyttes.

Resultatene kan analyseres når simuleringen har blitt avsluttet og forskyvningene, spenningene eller andre ønskede variabler har blitt beregnet. Resultatene blir gjerne presentert interaktivt ved visualiserings-modulen til Abaqus/CAE. Visualiseringsmodulen tar inn database-filen med resultater, og kan for eksempel presentere resultatene som fargeplott, animasjoner eller rene data.

7.1.1 Nøyaktighet ved numeriske analyser

Elementmetoden benytter noder og elementer for å beskrive geometrien til en konstruksjon. Hvert element representerer en diskret del av den fysiske konstruksjonen, som representeres ved mange sammenkoblede elementer. Til sammen utgjør disse elementene et mesh som er en tilnærming til den reelle konstruksjonen. Hvilken type elementer som velges, lokaliseringen og størrelsen på disse elementene påvirker resultatene fra simuleringen. En inndeling i flere elementer vil generelt gi konvergens mot eksakt løsning, men på bekostning av et større likningssett og høyere beregningskostnader.

Resultatene fra en numerisk modell vil alltid være en tilnærming til det reelle problemet som modelleres. Hvor godt modellen beskriver det fysiske problemet avhenger av modellens geometri, kontaktflater, materialoppførsel, randbetingelser og hvordan lasten påføres. I simuleringer der man skal gjenskape en utført test har man mulighet for å gjøre gjentatte simuleringer for å skape en modell som representerer det fysiske problemet på en best mulig måte. Dersom man ikke har mulighet for å utføre en fysisk test parallelt kan det være aktuelt å gjøre en referansetest for å undersøke gyldigheten av den numeriske modellen.

7.2 Modellering av testgulv i Abaqus

For å simulere testingen som ble utført hos SINTEF Byggforsk ble det utviklet en numerisk modell i Abaqus. Det ble laget en basismodell, som det senere ble utført justeringer på. Basismodellen tok utgangspunkt i geometrien til testgulv 1a, med visse tilpasninger. Ved modellering av de ulike

komponentene, samt interaksjon, last og randbetingelser ble det gjort noen forenklinger. Disse er nærmere beskrevet her.

7.2.1 Komponenter

Gulvplaten ble definert som et homogent skall. Dette ble valgt fordi lengden og bredden på gulvet var langt større enn høyden, og vi har en last som virker normalt på platen. Derfor får vi plan spenningstilstand, som gjør at det ikke er nødvendig å benytte volumelementer. Volumelementer ville satt krav til en svært fin elementinndeling og medført en tung beregningstid. Gulvet ble modellert som én plateenhet, uten å ta hensyn til at gulvet egentlig består av 14 gulvbord festet i hverandre. Det ble på bakgrunn fra testresultatene antatt at not-fjær-forbindelsen mellom gulvbordene har relativt liten påvirkning på gulvets stivhet.

Lektene ble lagt med en senteravstand på 60 cm i basismodellen. På testgulv 1a var denne avstanden 69 cm, slik at basismodellen hadde en gulvflate på 3,668*3,668 m, mot 4,200*4,200 m på testgulv 1a. Årsaken til at det ble valgt å gjøre denne modifiseringen allerede i basismodellen, var at det ble vurdert at en lektavstand på 60 cm er mest realistisk å benytte på et fremtidig gulvprosjekt, og at det derfor er mest relevant å se på konsekvenser av justeringer på modellen ved 60 cm lektavstand.

Lektene ble modellert som tre-dimensjonale deformerbare solid. Det ble først laget en skisse over et kvadratisk tverrsnitt på 68*36 mm, og deretter ekstrudert til gulvets lengde på 3668 mm. Det ble valgt å se bort i fra det skråstilte feltet på lektene på testgulvet, da dette ville medført økt kompleksitet i modelleringen av dempnings-sjiktet. For både lektene og gulvbordene ble det benyttet materialparametre for limtre med fasthetsklasse GL 24c, med materialdata presentert i tabell 11.

GL 24c [N/mm ²]			
Fastheter			
Bøyefasthet			
-	På kant og på flasken	$f_{m,k}$	24
Stivheter			
Elastisitetsmodul			
-	Parallelt med fiberretning, midl	$E_{0,mean}$	11,6
-	Parallelt med fiberretning, 5 %	$E_{0,05}$	9,4
-	Vinkelrett på fiberretning, midl	$E_{90,mean}$	0,32
Skjærmodul		G_{mean}	0,59
Densitet			
-	Densitet	ρ_k	350 kg/m ³

Tabell 11: Fasthetsegenskaper og stivhetsegenskaper for GL 24c, hentet fra EN 1194

Verdier for tverrrkontraksjon av standard norsk trevirke ble funnet i et internt notat fra Dahl (2007). I samråd med stipendiat Nathalie Labonnote ble det valgt å implementere disse verdiene til modelleringen. Disse verdiene er vist i tabell 12.

v_{LR}	v_{LT}	v_{RT}	v_{TR}	v_{RL}	v_{TL}
0,39	0,49	0,64	0,32	0,03	0,02

Tabell 12: Tverrrkontraksjoner for standard norsk konstruksjonstre (Dahl 2007)

I Abaqus/CAE kan lineær elastisitet i et ortotrop materiale defineres ved å angi de ni uavhengige stivhetsparametrene som finnes i stivhetsmatrisen til et ortotrop materiale. Følgende stivhetsparametre ble beregnet på bakgrunn av verdiene fasthetsegenskaper og tverrrkontraksjon:

$$\begin{aligned}
D_{1111} &= E_L(1 - \nu_{RT} \nu_{TR})\gamma = 11\,928,0 \text{ N/mm}^2 \\
D_{2222} &= E_R(1 - \nu_{LT} \nu_{TL})\gamma = 409,74 \text{ N/mm}^2 \\
D_{3333} &= E_T(1 - \nu_{LR} \nu_{RL})\gamma = 408,95 \text{ N/mm}^2 \\
D_{1122} &= E_L(\nu_{RL} + \nu_{TL} \nu_{RT})\gamma = E_R(\nu_{LR} + \nu_{TR} \nu_{LT})\gamma = 641,99 \text{ N/mm}^2 \\
D_{1133} &= E_L(\nu_{TL} + \nu_{RL} \nu_{TR})\gamma = E_T(\nu_{LT} + \nu_{LR} \nu_{RT})\gamma = 444,00 \text{ N/mm}^2 \\
D_{2233} &= E_R(\nu_{TR} + \nu_{LR} \nu_{TL})\gamma = E_T(\nu_{RT} + \nu_{RL} \nu_{LT})\gamma = 135,64 \text{ N/mm}^2 \\
D_{1212} &= G_{LR} = 590 \text{ N/mm}^2 \\
D_{1313} &= G_{LT} = 590 \text{ N/mm}^2 \\
D_{2323} &= G_{RT} = 50 \text{ N/mm}^2
\end{aligned}$$

hvor

$$\gamma = \frac{1}{1 - \nu_{LR}\nu_{RL} - \nu_{RT}\nu_{TR} - \nu_{TL}\nu_{LT} - 2\nu_{RL}\nu_{TR}\nu_{LT}} = 1,2931$$

På samme måte som på testgulv 1a og b ble det modellert et sjikt med Armaflex mellom lekt og betonggulvet. For å begrense kompleksiteten i oppførselen til dempningsmaterialet, ble det valgt å modellere dette sjiktet som festet plant til lekten. Materialelegenskaper for Armaflex-remsene ble valgt som vist i tabell 13:

E-modul	E	0,0593 N/mm ²
Tverrkontraksjon	ν	0,495
Tetthet	ρ	50 kg/m ³

Tabell 13: Materialelegenskaper for Armaflex benyttet i modelleringen

Modellering av strukturer av cellegummi med elementmetoden er en utfordrende oppgave, da materialet er hyperelastisk, og følgelig har ikke-lineære kraft-forskyvingsegenskaper. Materialet ikke ligger inne i standard materialbibliotek, da en rekke ulike faktorer ved materialsammensetningen påvirker egenskapene til en prøve av cellegummi. For å modellere dempningsmaterialet i modellen måtte det gjøres noen antagelser. En tilnærming til E-modulen til Armaflex ble funnet til å være $E = 0,0593$, ved hjelp av lastpåføring på en materialprøve. Nærmere beskrivelse av fremgangsmåten i denne estimeringen er gjengitt i vedlegg A.

Verdi for tverrkontraksjon ble i samråd med stipendiat Nathalie Labonotte satt til 0,495. Dette er en verdi som brukes for gummi-materialer. Hibbler (2007) nevner at skumlignende materialer som cellegummi kan ha en negativ poisson-ratio, men dette vil føre til ytterligere kompleksitet i modelleringen, og ble derfor ikke benyttet.

Verdien for tetthet ble hentet fra SINTEF's produktgodkjenningssrapport for Armaflex.

7.2.2 Interaksjon

Det ble benyttet fullt statisk samvirke mellom gulvet og lektene, samt mellom lekter og Armaflex. Denne funksjonen kalles *tie* i Abaqus. Dette medfører at det i modellen ikke vil være noen relativ forskyvning mellom delene som kobles. Dette blir en rimelig antagelse, da lektene var festet til

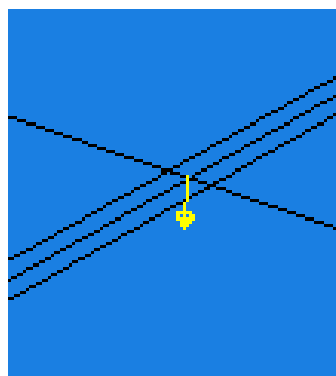
gulvbordene med én skrue pr skjæringspunkt mellom lekt og bord. Modelleringen kunne også vært gjort ved å modellere friksjon mellom lektene og gulvbordene, og lage forbindelser mellom enkelte noder, tilsvarende skruene. For den limte forbindelsen mellom lekt og Armaflex blir *tie*-interaksjon en realistisk gjengivelse.

7.2.3 Last

Lasten ble forenklet modellert som en dynamisk punktlast på 2830 N påført midt på gulvet, normalt på gulvflaten. Størrelsen på kraften ble valgt tilsvarende reflektert last på testgulv 1a for måling mellom lekt og skjot. Kraftfordelingen over tid er vist ved amplituden i tabell 14:

Tid	Amplitude
0	0
0,09	0
0,1	1
0,11	1
0,12	1
0,13	0

Tabell 14: Amplitude for kraften

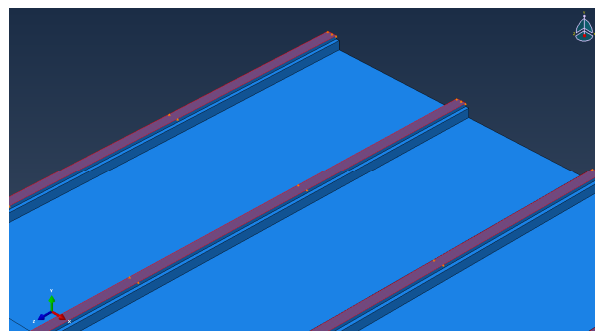


Figur 40: Punktlast påført på midten av gulvet

Denne amplituden ble valgt for å representere kontakttiden mellom fjær belastet av lodd og stålskiven som lå på gulvet i testingen, og utgjorde kraften på gulvet i labtestingen.

7.2.4 Randbetingelser

Alle Armaflex-remmene fikk den nedre flaten låst mot forskyvning i U2-retning i modellen som illustrert i figur 41. Dette vil si at gulvet var låst for forskyvning i planet som lasten virket normalt på, og representerte betonggulvet som modellen lå på. Ettersom testgulvet lå fritt oppå betongen og ikke hadde noen festepunkter mot vegg, slik et reelt gulv ville hatt, var det ikke nødvendig å modellere flere randbetingelser.



Figur 41: Randbetingelse

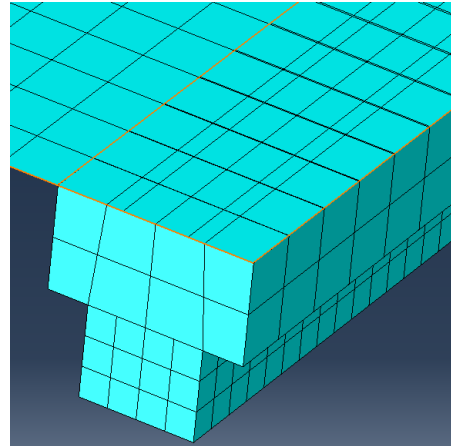
7.2.5 Elementer

I denne modellen ble det valgt å benytte førsteordens element, som sammenlignet med andreordens elementer gir færre noder, og dermed raskere beregningstid. Det ble benyttet elementer med redusert integrasjon for å myke opp oppførselen til elementet, og unngå skjærlåsing (Cook et al. 2002).

Gulvplaten fikk 33856 S4R-elementer med en tilnærmet elementstørrelse på 20 mm. På grunn av interaksjonsflatene mellom lekt og gulvplate var gulvplaten delt inn i flere partisjoner. Figur 42 viser hvordan dette medførte at meshet over lektene ble noe uregelmessig. Lektene ble modellert med C3D8R-element med en tilnærmet elementstørrelse på 20 mm. Dette gjorde at hver lekt ble delt inn i 1464 elementer. Armaflex-laget ble også modellert med C3D8R-elementer, her ble det valgt en

tilnærmet elementstørrelse på 10 mm da det er denne delen av modellen som fikk den største deformasjonen. Dette gjorde at hver av de syv Armaflex-remmene besto av 4404 elementer.

Med denne elementinndelingen kjørte testen på omtrent 10 minutter på en standard student-pc. Et noe lavere antall elementer kunne blitt benyttet for en raskere kjøring av testen, på bekostning av noe mindre nøyaktige resultater. Simuleringstiden ble vurdert som akseptabelt innenfor det omfanget av tester som skulle kjøres.



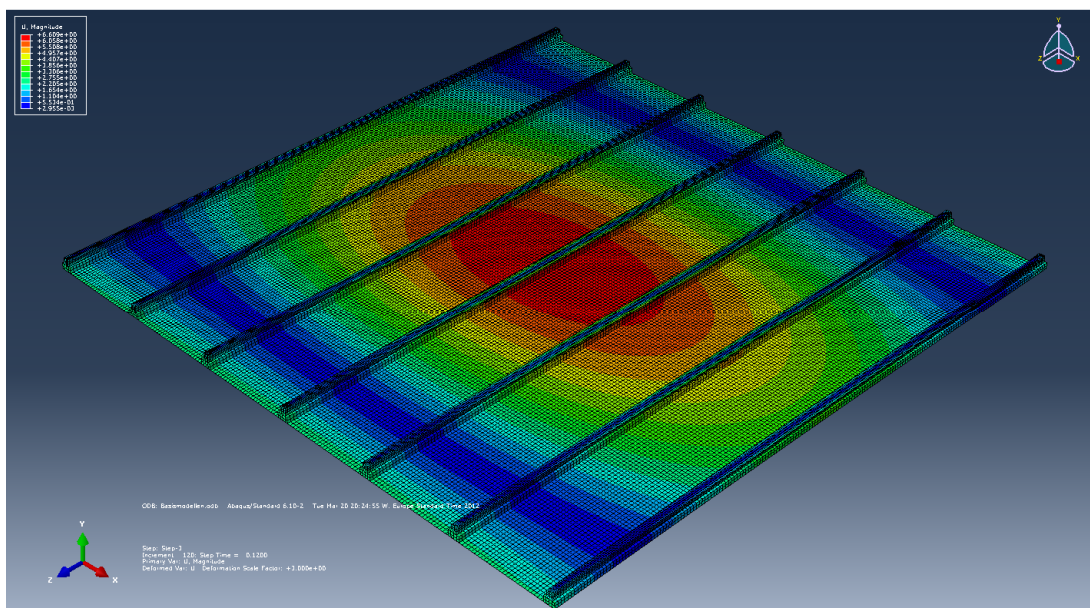
Figur 42: Meshet rundt en av lektene

7.2.6 Simulering

I simuleringen ble det åpnet for store forskyvninger ved å bruke ikke-lineær analyse, som følge av de store kompresjonene i dempningssjiktet. Det ble valgt å benytte de seks laveste egenfrekvensene i den dynamiske analysen. Det må presiseres at modellen har en svært begrenset gyldighet som følge av antagelsen om at Armaflex som et hyperelastisk materiale er modellert med en E-modul, men som en pekepinn på resultatene man kan vente i en ny testrunde, vil den likevel kunne gi et nyttig bidrag.

7.3 Evaluering av basismodellen

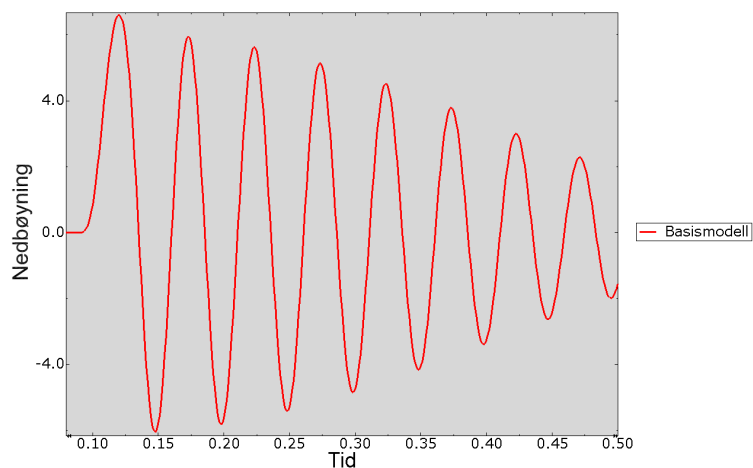
Basert på målene og lastsituasjonen fra testgulvet, ble det laget en numerisk modell for å etterligne deformasjonstesten. Simuleringen av last over lekt ga en maksimal deformasjon på 6,61 mm, og forekommer i midtnoden over lekt der lasten ble påført. Figur 43 viser hvordan nedbøyningen er fordelt over nesten hele gulvflaten for tidssteget der deformasjonen er størst.



Figur 43: Deformasjonsplott av basismodellen ved last over lekt

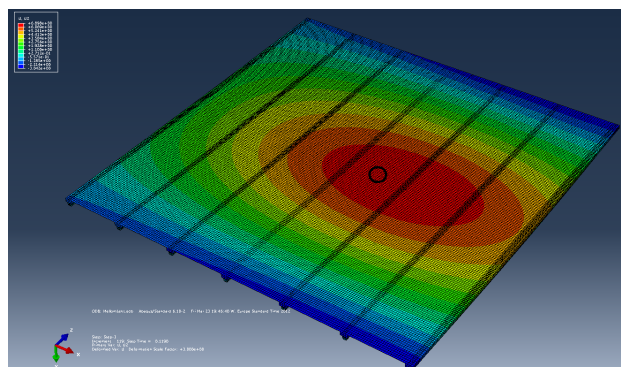
Deformasjonsplottet viser også hvorfor det er rimelig å kreve en gulvflate på minst 3,5*3,5 m for å gjøre testing på et flateelastisk gulv. Figur 43 viser hvordan gulvet ved de ytterste lektene også gir bidrag til å stive av gulvet. Deformasjonen ved de ytterste lektene (grønn farge) er omtrent 40 % av deformasjonen midt på gulvet for tidssteget der deformasjonen på midten av gulvet er størst. Ved testing i lab ble ikke alle målingene utført eksakt midt på gulvet, og det gjør bidraget til avstivning av gulvet fra den ene siden noe lavere.

Figur 44 viser hvordan gulvet ble satt i svingninger i simuleringen. Ettersom materialdataene som er lagt inn for Armaflex er forenklet, blir ikke gjengivelsen av svingningene riktig, men det er den første toppen på kurven som er viktig i forbindelse med deformasjonstesten.

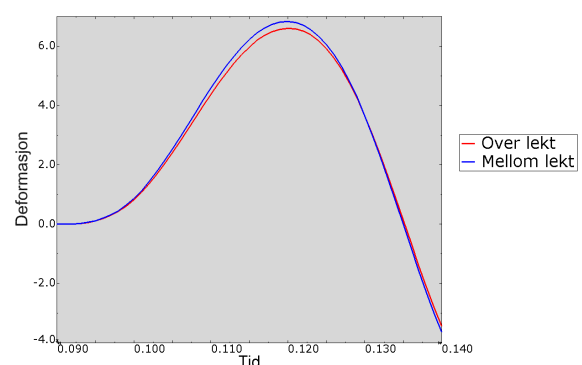


Figur 44: Basismodellen utsatt for kraft

Figur 45 viser plottet for last påført mellom lektene. Selv om lasten er påført i en node mellom lekt fire og fem fra høyre (markert med svart sirkel), viser deformasjonsplottet at deformasjonen blir forskjøvet noe mot ytterkanten, siden stivheten fra gulvet er mindre i denne retningen. Deformasjonen i ytterkant av gulvet er her med gul/oransje farge, som tilsvarer omtrent 70 % av nedbøyningen i lastnoden. Dette viser igjen hvorfor det er viktig at testgulvet holder minst 3,5*3,5 meter. Figur 46 viser hvordan deformasjonskurven er nesten identisk for de to lasttilfellene.



Figur 45: Plott av standard deformasjon ved last mellom leker



Figur 46: Plott av deformasjonskurven for målinger henholdsvis over og mellom leker

Verdiene for deformasjon ved last påført henholdsvis over lekt og mellom lektene er presentert i tabell 15. Verdiene er lest av i samme node som lasten ble påført, og for begge simuleringene gjelder det at det er dette lastpunktet som har det maksimale utslaget på gulvflaten.

	Deformasjon i modellen	Lineært skalert deformasjon	Deformasjon på testgulv 1a
Over lekt	6,61	4,17	4,17
Mellom	6,91	4,36	4,07

Tabell 15: Deformasjon over lekt og mellom lekter [mm]

Da basismodellen ga en maksimal deformasjon på henholdsvis 6,61 mm for last over lekt og 6,91 mm for last mellom lekter, i overkant av 50 % høyere enn for testgulvet, ble det utført en lineær skalering av resultatene. Dette er gjort slik at tallene som presenteres er direkte sammenlignbare med resultatene fra gulvtestingen hos SINTEF Byggforsk og minimumskravet til deformasjon.

Simuleringen viser hvordan deformasjonen ved last mellom lekter blir større enn for last over lekt. Lineært skalert tilsvarer denne forskjellen 0,19 mm på testgulvet. Resultatene viste en forskjell på 0,10 mm, men med motsatt fortegn; deformasjonen var høyest for måling over lekt. Det må sies at det er en forskjell på 5-6 % det er snakk om, og at dette er lite i forhold til usikkerheten som følger med ulike tilpasninger som er gjort ved denne modellen. At senteravstanden for lektene er 60 cm i modellen, mot 69 cm for testgulvet, burde egentlig gitt et lite bidrag til mindre forskjell i deformasjon mellom lekt og over lekt for testmodellen. Det må igjen presiseres at det er snakk om små effekter her.

7.3.1 Statisk analyse

Det ble også forsøkt å kjøre simuleringen som en statisk analyse som kontroll, og denne ga relativt like resultater som for den dynamiske lasten. Den maksimale deformasjonen lå ca 2 % lavere enn for dynamisk last. Det bør være rimelig at det ikke gir for store forskjeller ved å kjøre testen statisk, ettersom dynamikken i simuleringen er begrenset som følge av at størstedelen av gulvet er utsatt for små deformasjoner.

7.4 Analyse av forbedret numerisk modell

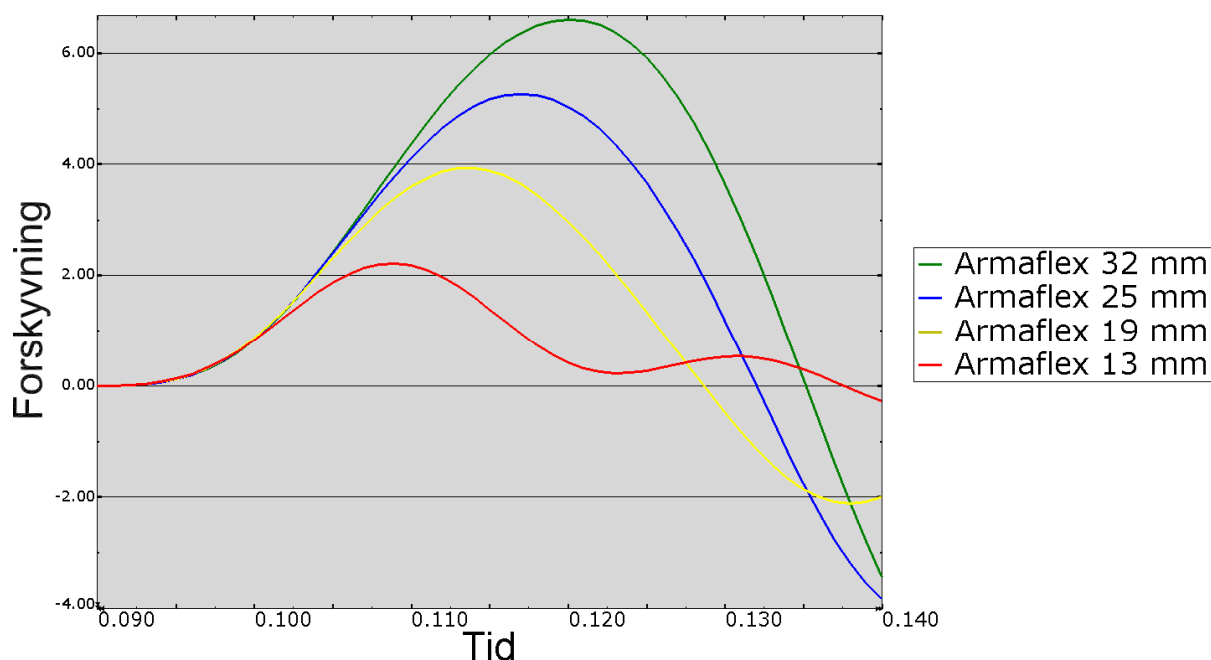
En rekke mulige justeringer av gulvet ble vurdert, og her presenteres resultatene fra modellering av de ulike tilpasningene. Faktorene som har blitt undersøkt er tykkelsen på Armaflex-sjiktet, tykkelse på gulvbord, stående lekter, lektavstand, fasthetsklasse på trevirket og E-modul for dempningsmaterialet. Basismodellen er benyttet som utgangspunkt, og én og én faktor har blitt endret. Avslutningsvis er det foreslått en modell som forbedret løsning på bakgrunn av alle faktorene som ble testet.

Det er fokusert på hvilken konsekvens en endring gir for standard deformasjon, med visshet om at en endring av gulvkonstruksjonen også vil gi konsekvenser for resultatene av de øvrige testene. Et gulv med standard deformasjon ned mot minstekravet kan for eksempel stå i fare for ikke å oppfylle kravet om minst 50 % relativ støtdempning. Derfor er derfor viktig å presisere at det ikke er noen automatikk i at et gulv som har en standard deformasjon like over 2,3 mm er fungerende som idrettsgulv.

7.4.1 Tykkelse på Armaflex

Resultatene fra testingen hos SINTEF Byggforsk viste at tykkelsen på Armaflex som ble benyttet trolig var for høy. Det har derfor blitt sett på hvilke konsekvenser det kan forventes at en justering av

tykkelsen på Armaflex-sjiktet vil gi. Det har blitt tatt utgangspunkt i et utvalg blant de tykkelsene Armaflex leveres i som ble antatt å være mest relevante. Figur 47 viser den deformasjonen som funksjon av tid.



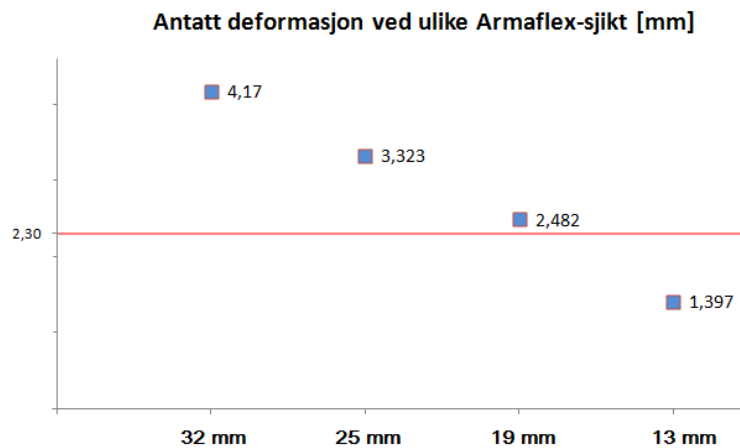
Figur 47: Modellert standard deformasjon ved ulik tykkelse på dempningssjikt

Kurvene illustrerer tydelig hvordan gulvet oppnådde høyere maksimal deformasjon jo tykkere dempningssjikt som ble benyttet. Tabell 16 viser hvordan de numeriske resultatene har blitt skalert for å tilsvare deformasjonen på testgulvet.

	Modellert deformasjon	Relativ modellert deformasjon
AF 32 mm	6,606	4,170
AF 25 mm	5,265	3,323
AF 19 mm	3,932	2,482
AF 13 mm	2,213	1,397

Tabell 16: Oppnådd standard deformasjon for ulik tykkelse på dempningssjikt

I videre sammenligninger er det disse skalerte resultatene som benyttes. Figur 49 viser hvordan nedbøyningen avtar for ulike tykkelser på dempningssjiktet.



Figur 48: Antatt deformasjon for ulik tykkelse på Armaflex-sjiktet

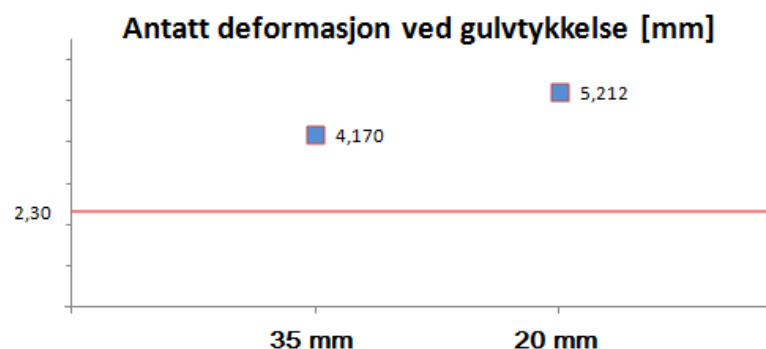
Det er tydelig hvordan deformasjonen avtar for tynnere Armaflex-sjikt. Simuleringen foreslår at å bruke 19 mm tykkelse bør være tilstrekkelig for å oppnå en godkjent deformasjon. Hvorvidt den relative støtdempningen ved denne tykkelsen vil være høy nok for godkjenning som idrettsgulv kommer ikke frem ved modellen, og bør testes fysisk. Den lave forskjellen mellom støtdempningen for testgulv 1a og b, til tross for at det var ulikt areal dempningsmateriale på disse gulvene, kan imidlertid peke mot at mengden Armaflex som ligger under gulvet i liten grad avgjør graden av støtdempning, så lenge det gjelder for relativt små (15-20 %) deformasjoner i cellegummien.

25 mm Armaflex-sjikt må sies å være et konservativt valg i forhold til å oppnå høy nok deformasjon, og vil svært trolig også ha høy nok relativ støtdempning. Det er derimot mulig at gulvet kan ha de samme ankepunktene som testgulv 1a, altså en gyngende følelse når man går på det som følge av høy deformasjon, samtidig som gulvet kan stå i fare for ikke å oppfylle kravet til ballsprett.

Simuleringen indikerer at en tykkelse på 13 mm Armaflex etter alt å dømme er for lavt, dersom det ikke gjøres øvrige tilpasninger ved konstruksjonen som kan gi større deformasjon i andre sjikt.

7.4.2 Tykkelse på gulvbord

Det ble også forsøkt å justere tykkelsene på gulvbordene i modellen. Det ble valgt de samme tykkelsene på gulvbordene som i testingen hos SINTEF Byggforsk, 20 og 35 mm. Figur 50 viser hvordan nedbøyningen øker når gulvtykkelsen blir redusert.



Figur 49: Modellert deformasjon ved ulik gulvtykkelse

Testen viser at en redusert tykkelse på gulvbordet gir en antatt økning i nedbøyningen på ca 20 %. Dette er ikke en ønsket effekt, så dersom man skulle velge å benytte et tynnere gulv, må det kompenseres med andre faktorer som reduserer deformasjonen. Trolig ville en mer relevant endring heller være å øke tykkelsen på gulvbordene, men da testingen viste at gulvet på 35 mm var solid nok til å tåle de aktuelle belastningene, finnes det ingen tungveiende grunner til å anbefale en slik endring.

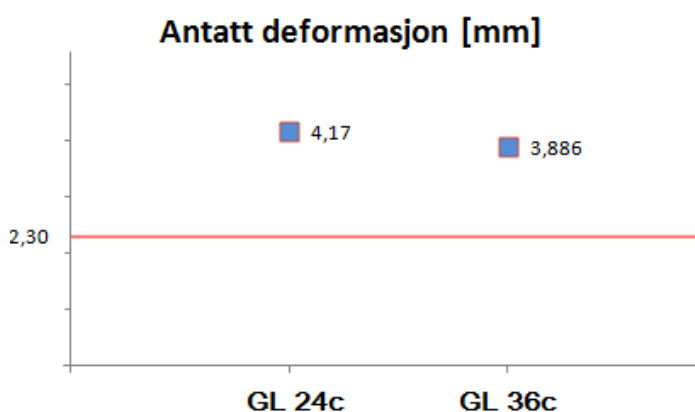
7.4.3 Konstruksjonsklasse på trevirket

En mulig tilpasning er å benytte en annen fasthetsklasse på trevirket som brukes i gulvbordene og lektene. Testingen avdekket at alle testgulvene oppnådde for lav ballsprett, og en mulig forklaring på dette er at trevirket som har blitt benyttet er for mykt. Derfor ble det forsøkt å modellere limtre med fasthetsklasse GL 36c og materialdata hentet fra NS-EN 1194 og vist i tabell 17.

	GL 36c
Bøyestivhet	36
Elastisitetsmodul	14 700
Skjærmodul	850
Tetthet	430 kg/m ³

Tabell 17: Materialdata for limtre med fasthetsklasse GL 36c

Deformasjonen for lekter og gulvbord med høyere fasthetsklasse er vist i figur 51.

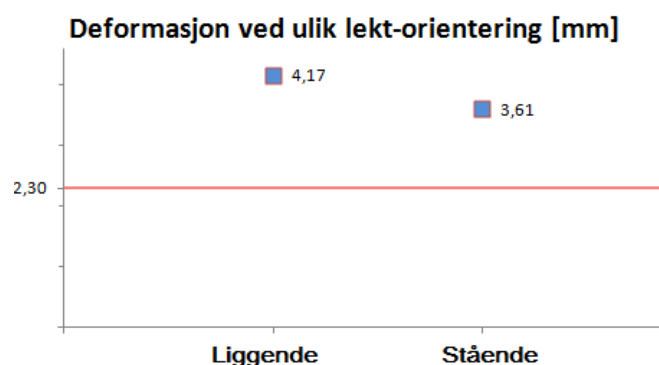


Figur 50: Forskjell i deformasjon ved ulik fasthetsklasse på trevirket

Testen viser at en endring av trevirket antas å ha relativt liten effekt på deformasjonen, reduksjonen er på mindre enn 10 %. En eventuell endring av fasthetsklasse på trevirket bør kun gjøres i sammenheng med justering av en eller flere av de øvrige faktorene, da en forventet deformasjon på 3,89 mm fortsatt er for høyt. Et argument for å endre fasthetsklasse på treet er at ingen av testgulvene klarte å oppnå kravet om minst 90 % ballrefleksjon. Ettersom testgulv 1a og b hadde for høy støtdempning, og testgulv 2 hadde 20 mm tykke gulvbord, er det ikke grunnlag for å konkludere med at et gulv med 35 mm tykkelse av fasthetsklasse GL 24c ikke har mulighet for å oppnå god nok ballsprett, men en eventuell endring til høyere fasthetsklasse på trevirket må antas å gi et positivt bidrag til å oppfylle kravet. Dette vil imidlertid medføre økte kostnader, da GL 36c er et dyrere materiale.

7.4.4 Stående lekter

Det ble forsøkt å modellere gulvet med snudde lekter, altså slik at lektene ble stående på høykant. Ettersom bredden ble Armaflex-sjiktet var 40 mm, ble det valgt å øke bredden på lektene fra 36 til 40 mm, da en eventuell endring av bredde på Armaflex-remmene også ville påvirke støtdempningen. Figur 51 viser hvordan deformasjonen avtar når lektene blir plassert stående.



Figur 51: Deformasjon ved ulik lekt-orientering

Stående lekter oppnår ca 14 % lavere nedbøyning enn liggende lekt. Det må vurderes i det enkelte tilfellet hvilken retning det som vurderes som mest hensiktsmessig å plassere lekten.

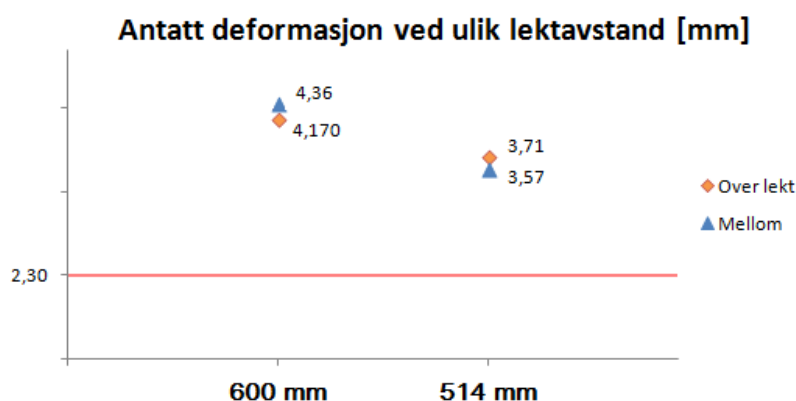
7.4.5 Lektavstand

For å se hvilken effekt lektavstanden har på nedbøyningen av gulvet, ble det forsøkt å sette inn én ekstra lekt på basisgulvet, og justert slik at de lå med jevn avstand. Resultatene fra testingen er presentert i tabell 18.

	Senteravstand	Over lekt	Mellom
8 lekter	514 mm	3,71 mm	3,57 mm
7 lekter	600 mm	4,17 mm	4,36 mm

Tabell 18: Standard deformasjon ved endret lektavstand

Figur 53 viser hvordan nedbøyningen blir lavere når senteravstanden mellom lektene blir kortere.



Figur 52: Antatt deformasjon ved ulik lektavstand

En interessant effekt er at endringen ser ut til å være størst for måling mellom lektene. For senteravstand 600 mm er det slik at måling mellom lektene gir høyest nedbøyning, mens dette er snudd når senteravstanden er kuttet ned til 514 mm, slik at den høyeste nedbøyningen nå

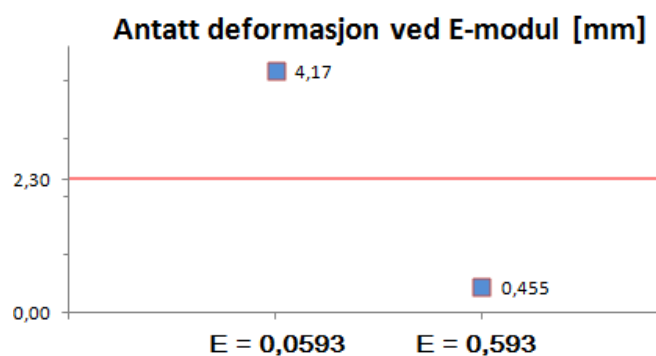
forekommer over lekt. Trekker man dette videre, og ser for seg et gulv med senteravstand på for eksempel 700 mm, bør dette gulvet ha langt større forskjell mellom målepunktene.

For nedbøyningen finnes det ikke noe krav for maksimalt tillatt avvik over gulvet, men for støtdempningen finnes det et krav som sier man ved feltmålinger på et gulv ikke skal ha enkeltmålinger med mer enn 5 % avvik fra gjennomsnittsverdien. Det er tidligere argumentert for hvorfor det er en viss sammenheng mellom relativ støtdempning og standard deformasjon. Ettersom gulvtestingen hos SINTEF Byggforsk viste at de største avvikene i målinger forekom over skjøt, vil det trolig være fornuftig å velge en senteravstand slik at målinger over lekt og mellom lekter gir så likt resultat som mulig. Derfor indikerer denne testen at å velge en senteravstand på mellom 514 og 600 mm trolig vil være gunstig.

For denne modellen ligger bidraget til nedbøyningen fra dempningssjiktet noe høyere enn i en optimal modell. Dette kan bidra til at senteravstanden som foreslås her er noe lavere enn ideell senteravstand på et gulv med en deformasjon ned mot 2,3 mm.

7.4.6 E-modul

Ettersom E-modulen for Armaflex som ble funnet eksperimentelt må sies å være en antagelse, ble det forsøkt å se hvilken effekt det ga på modellen å velge en E-modul som var ti ganger så høy. Resultater er vist i figur 54.



Figur 53: Antatt deformasjon ved endret E-modul

Modelleringen viser at angitt E-modul for Armaflex nærmest er en skaleringsfaktor for deformasjonen i gulvmodellen, siden en økning med faktor 10 gir en reduksjon med 89,1 % av deformasjonen til basismodellen. Dette er omtrent som ventet da størstedelen av deformasjonen forventes å komme av kompresjon i Armaflex-sjiktet. Ettersom det ligger tilpasninger i modelleringen som gjør at det benyttes skalerte verdier for alle sammenligninger, indikerer dette at et eksakt riktig valg av verdi for E-modul for Armaflex ikke er altavgjørende for gyldigheten til modellen. Et totalt feil valg av E-modul kan imidlertid påvirke forholdet mellom deformasjon i Armaflex-sjiktet og deformasjon i lekt/gulvbord, og gi unøyaktige resultater.

7.5 Oppsummering

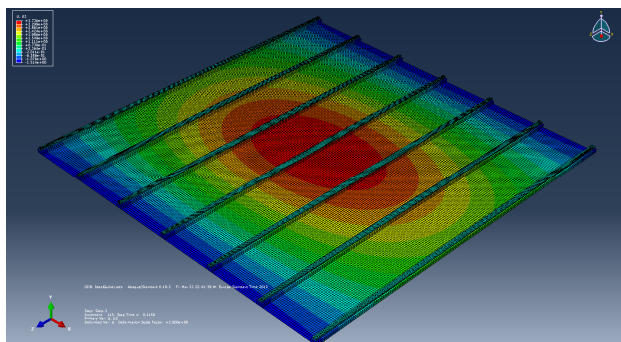
Endringene som har blitt foreslått viser at egenskapene ved støtdempningssjiktet er den klart viktigste faktoren for deformasjonen på gulvet. En endring i E-modulen viste seg å ha mest dramatiske konsekvenser, men ettersom verdien for denne er hentet eksperimentelt og må sies å være en relativt grov antagelse, er det bra for validiteten til modellen at den viser seg nærmest å være en skaleringsfaktor. Ettersom gulvene i denne oppgaven baserer seg på Armaflex som

dempningsmateriale, er det derfor ikke lagt hovedvekt på tallverdi av E-modulen videre i denne analysen. Dermed viser simuleringene at tykkelsen på Armaflex-sjiktet er den viktigste faktoren. Simuleringene antyder at en tykkelse på 19 mm bør være tilstrekkelig for å oppnå høy nok deformasjon i gulvet. I forhold til å passere kravet til ballsprett, kan det være nødvendig å velge tre av en hardere fasthetsklasse enn GL 24c. Derfor er det i den forbedrede modellen foreslått å benytte GL 36c. Ut over dette har det blitt benyttet samme parametre som for basismodellen. Oppbygningen av den forbedrede modellen er presentert i tabell 19.

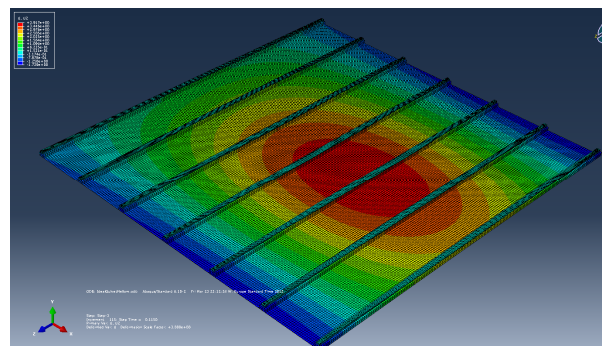
Gulv		
	Fasthetsklasse	GL 36c
	Tykkelse	35 mm
Lekter		
	Fasthetsklasse	GL 36c
	Senteravstand	60 cm
	Orientering	Liggende
Armaflex		
	Tykkelse	19 mm

Tabell 19: Valgte parametre for forbedret modell

Deformasjonsplott for den forbedrede modellen er vist i figur 55 og 56.

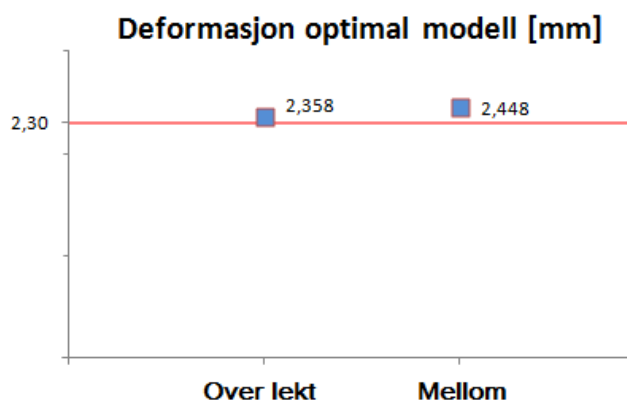


Figur 54: Nedbøyning ved last i midtpunkt



Figur 55: Nedbøyning ved last mellom lekter

På samme måte som på basismodellen blir utbredelsen av nedbøyningen større mot den siden som er nærmest kanten av gulvet. Nedbøyningen for den forbedrede modellen er helt ned mot grenseverdien for hva som kan tillates, og er vist i figur 57.



Figur 56: Standard deformasjon av forbedret modell

Gulvet i den forbedrede modellen en standard deformasjon på 2,36 mm for måling over lekt, og 2,45 mm for måling mellom lekter, altså like over minimumskravet på 2,30 mm. På bakgrunn av målingene på testgulv 1a og b bør gulvet ha gode muligheter til å oppnå kravet om minst 50 % relativ støtdempning. Den høye fasthetsklassen som benyttes i gulvet, kombinert med et tynnere dempningssjikt enn for testgulv 1a og b, gjør at dette gulvet bør klare å oppnå minst 90 % relativ ballsprett. Motstand mot rullende belastning bør ikke være noe problem på grunn av tykkelsen på gulvbordene, og ved korrekt overflatebehandling bør dermed gulvet passere gjeldende krav for å kunne godkjennes som idrettsgulv.

Gulvløsningen vil være et solid og slitesterkt idrettsgulv, som bør passe godt i en flerbrukshall. Den høye slitestyrken til limtreet gjør at gulvet bør kunne tåle andre type belastninger enn et idrettsgulv utsettes for i vanlig bruk. Det vil være en estetisk løsning som bygger på miljøvennlige løsninger. De aktive vil trolig kunne oppleve gulvet som et raskt dekke, med god respons i utøvelsen av idrettsaktivitet.

8 Konklusjon

Forhåndstesting av relativ støtdempning på gulvet i verkstedhallen på Snekkeriet viste at et gulv av limtre på lekter som ligger rett på betong ga for lav støtdempning, og følgelig at det måtte benyttes et dempningsmateriale som myker opp responsen i gulvet. På bakgrunn av dette ble det konstruert to testgulv som var forventet å være nærmere å oppfylle kravene til idrettsgulv.

Resultatene fra målingene på testgulv 1 viste at det ble laget med for tykt dempningsmateriale, slik at den relative støtdempningen og standard deformasjon ble for høy. Begge havnet innenfor kriteriene for godkjenning, men siden spesielt nedbøyningen ble alt for høy, klarte gulvet ikke kravet til relativ ballsprett. Denne rapporten kan ikke gi noe entydig svar på om justeringer av dempningsmaterialet vil gi høy nok ballrefleksjon, eller om trevirket som har blitt benyttet er for mykt til å gi god nok refleksjon.

De skrå lektene som ble benyttet ble vurdert til å være et blindspor. Testing av materialeegenskapene for Armaflex i ettertid viste at det har ikke-lineære kraft-forskyvningsegenskaper, og man vil derfor kunne få en progressiv dempning også når dempningsjiktet legges plant på lektene.

Resultatene fra testgulv 2 viste at gulvbordene med 20 mm tykkelse er for tynt til å kunne brukes som idrettsgulv. Dette var spesielt tydelig på testen med rullende last, der gulvet knaket allerede før testen startet, og ble helt fliset i stykker. Fugebåndet som ble testet på dette testgulvet ble vurdert til å være for tynt til å være egnet som dempningsmateriale for idrettsgulv.

Gulvløsningene som ble testet oppnådde for lav friksjon. Testingen viste tydelig hvordan flere faktorer enn behandlingsmiddelet spiller inn på friksjonstallet. Den eneste løsningen som ble testet og ga akseptable verdier var den ubehandlede prøven, men denne er uegnet på grunn av lav slitasjestyrke. Årsaken til at prøvene hadde for lav friksjon lå trolig i forbehandlingen av prøvene. Dersom gulvet gis en grovere puss, vil det få en mer porøs overflate og følgelig høyere friksjon. Dermed bør lakkeringsproduktene som ble testet her likevel være aktuelle.

Den numeriske analysen som ble utført viste at tykkelsen på dempningsmaterialet var den faktoren som hadde størst påvirkning på nedbøyningen av gulvet. Simuleringene antyder at en Armaflex-tykkelse på 19 mm trolig vil være nok for å oppnå kravet om 2,3 mm standard deformasjon. Forsøket med å endre lektavstand viste at en senteravstand på mellom 514 og 600 mm bør gi gulvet jevnest mulig egenskaper over hele flaten.

Simuleringen viste også hvilke konsekvenser endring av andre faktorer ved gulvet fikk for nedbøyningen. Det ble påvist hvordan endring av fasthetsklasse på trevirket ga en noe stivere oppførsel, mot at det er en noe dyrere løsning. Stående lekter ga også en noe stivere oppførsel enn liggende lekter, og hvorvidt lektene skal orienteres stående eller liggende kan være en fin justeringsparameter i forhold til å få rett støtdempning og deformasjon på gulvløsningen. Gulvtykkelse og senteravstand mellom lektene er faktorer det anbefales å beholde på samme måte som i basismodellen.

8.1 Anbefalinger for videre arbeid

Endringene som er utført på den numeriske modellen gir innblikk i hvilke konsekvenser ulike endringer må kunne forventes å gi på gulvet. Det kreves imidlertid minst én testrunde til hos SINTEF Byggforsk før gulvet kan vurderes som aktuelt for legging i hall. Denne oppgaven foreslår at det bør lages ett testgulv etter anbefalingene for optimalt gulv i forhold til simuleringene, samt et gulv som er bygd på samme måte, men med 25 mm Armaflex-sjikt. Det kan velges å benytte trevirke med fasthetsklasse GL 24c, men i henhold til resultatene fra første testrunde er usikkert om dette trevirket vil klare kravet til ballsprett.

Det gjenstår noe arbeid i forhold til å finne en godkjent overflatebehandling av gulvet. Her bør det forsøkes med ulike pussemetoder, og fokuseres på én til to overflatebehandlinger. Resultatene viste at linolje-miksen og den tradisjonelle gulvlakken ga litt for glatte overflater, men dersom trevirket gis en noe grovere puss før det behandles, bør gulvet kunne få en akseptabel friksjonsverdi. Måling av friksjonsverdier kan gjøres på mindre prøvestykker av gulvbordene, og kan følgelig gjøres uavhengig av den øvrige gulvgodkjenningen.

Dersom man etter en ny testrunde klarer å oppnå resultater som faller innenfor kravene til idrettsgulv, vil gulvet være klart for å realiseres hos en pilotkunde. Feltnmålinger og tilbakemeldinger fra brukerne vil være avgjørende for om vil være mulig å gå videre med gulvløsningen i større skala.

9 Referanseliste

Abaqus 6.10 Online Documentation (2011) *Abaqus Theory Manual* (kap 2). Dassault Systemes

AkzoNobel (2011): *Sikkerhetsdatablad PLASTOFIX RF 98*

Aune, P. (1992). *Trekonstruksjoner Del 1*. Tapir: Trondheim

Carling, O, Gross, H. & Holmestrand, Å. (2002). *Limtreboka* (1.utgave).

Cook, R. D., Malkus, D.S., Plesha, M.E., Witt, R.J. (2002). *Concepts and applications of finite element analysis (4th edition)*. Wisconsin: John Wiley & Sons, Inc.

Dahl, K.(2007) *Linear-elastic orthotropic material parameters for wood*. Internt notat, Institutt for konstruksjonsteknikk, NTNU, Trondheim.

F. B. (ukjent): *Syntetiske sportsgulv*. Internt notat, Senter for Idrettsanlegg og Teknologi

Glava (2011) <http://www.glava.no/produkter/marine-offshore/armaflex/> hentet 20. mars 2012.

Hibbler, R.C. (2007) *Mechanics of materials* (7th edition). Upper Saddle River: Prentice Hall

Jackon (2011): *Smarte produkter fra Jackon. Fugebånd*

Kultur- og kirkedepartementet (1995). *Golv i idrettsbygg* (3. utgave). Oslo: Universitetsforlaget

Kultur- og kirkedepartementet (2002): *Standard anbudsbeskrivelse for idrettsgolv*

Kultur- og kirkedepartementet (2005): *Flerbrukshaller. Planlegging, bygging, drift og vedlikehold*

Ramböhl Sverige (2010): *Säkerhetsdatablad Allbäck Linolja*

Rådgiver Dørum, J., Green Advisers, samtale 1. februar 2012.

Seniorrådgiver Sæther, D.H., SINTEF Byggforsk, samtale 17. januar 2012.

SINTEF Byggforsk (2008): *Belastning fra rullende tribunehjul* . KS 14-05-41-5117 Interne testrutiner

SINTEF Byggforsk (2008): *Deformasjon, idrettsgulv*. KS 14-05-41-5104 Interne testrutiner

SINTEF Byggforsk (2008): *Relativ støtdempning, idrettsgulv*. KS 14-05-41-5105 Interne testrutiner

SINTEF Byggforsk (2008): *Roterende friksjon – Lab*. KS 14-05-41-5112 Interne testrutiner

SINTEF Byggforsk (2008): *Vertikal ballsprett, idrettsgulv*. KS 14-05-41-5107 Interne testrutiner

SINTEF (2010): *Produktdokumentasjon SINTEF 020-0204. AF/Armaflex og NH/Armaflex*

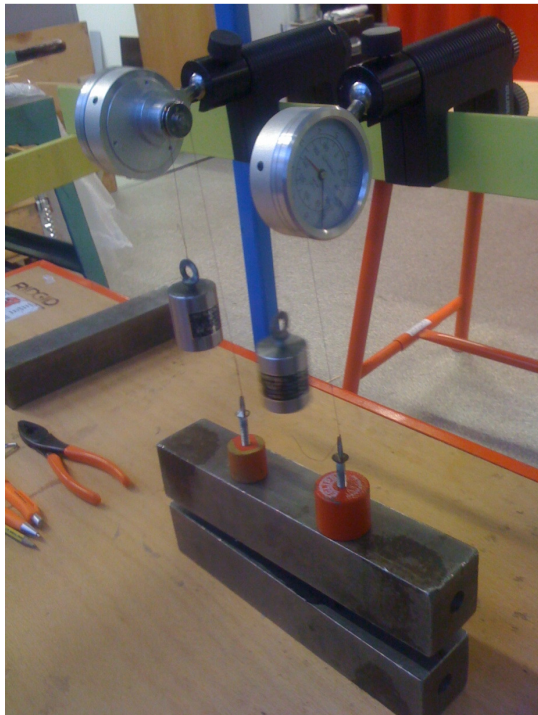
Standard Norge (1999) *NS-EN 1194: Trekonstruksjoner Limtre. Fasthetsklasser og bestemmelse av karakteristiske verdier*. (1. utgave)

Standard Norge (2003) *NS-EN 338: Konstruksjonstrevirke Styrkeklasser*. (2. utgave)

Stipendiat Labonnote, N., NTNU, samtale 12. mars 2012.

Vedlegg A: Estimering av E-modul for Armaflex

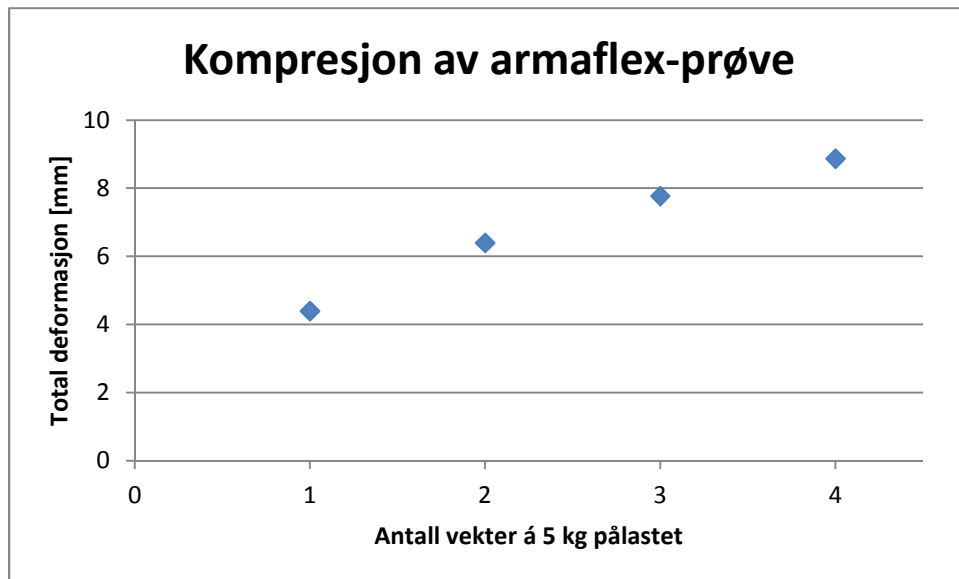
En prøvebit av materialet med tykkelse målt til 18,3 mm ble skåret til slik at den var 40 mm bred og 86 mm lang. Denne ble plassert på en plan flate, og deretter belastet med lodd på 5 kg. Kompresjonen ble antatt å være uniaksiell, og deformasjonen av prøvestykket ble målt ved hjelp av et måleur, og ble notert for hvert lodd á fem kilo. Da prøvebiten var noe liten i forhold til vektene som ble lastet på, ble testoppsatsen noe ustabil. Derfor ble det benyttet to måleur for å justere for eventuelle skjevheter. Gjennomsnittsverdien av disse to ble benyttet i videre beregninger. Ettersom flere lodd ble lastet på, ble konstruksjonen enda mer ustabil, og måtte balanseres med forsiktig oppstøtting fra testerne. Målinger ble notert både ved pålastning og avlastning av vektene. Tabell 20 viser deformasjonen for hvert lodd som ble lastet på.



Figur 57: Oppstilt testutstyr for kompresjonsmåling

	0-5 kg	5-10 kg	10-15 kg	15-20 kg
Δh	4,40 mm	2,00 mm	1,38 mm	1,10 mm

Tabell 20: Kompresjon pr lodd som ble lastet på



Figur 58: Kompresjon pr lodd lastet på

Målingene viser tydelig at Armaflex ikke har lineær deformasjonskurve. For å finne ut hvor stor deformasjon Armaflex var utsatt for i testingen hos SINTEF Byggforsk, ble det først gjort en beregning av egenvekten til testgulvet:

	Antall	Lengde	Bredde	Høyde	Korr. Faktor	Volum [m ³]	Tetthet [kg/m ³]	Vekt [kg]
Bord	14	4200	300	35	1	0,6174		
Lekt	7	4200	36	68	0,85	0,0612		
Sum						0,6786	420	285,00

Figur 59: Egenvekt av testgulvet

Korreksjonsfaktoren for lektene er benyttet fordi lektene først er antatt rektangulære, og det deretter er tatt høyde for at ca 15 % av lekten er skåret bort i det skråstilte feltet for dempningsmateriale. Deretter ble det arealet som Armaflex-remmene har som kontaktflate mot gulvet funnet. Da modellen ikke tar hensyn til skråstilt Armaflex på testgulvet, er det regnet ut kontaktflaten mot gulvet dersom Armaflex-remmene ikke hadde vært skråstilt:

	Antall	Lengde [mm]	Bredde [mm]	Areal [m ²]
Areal armaflex	7	4200	40	1,176

Kraften pr areal for testgulvet ble deretter funnet:

Vekt [kg]	[m/s ²]	Areal [m ²]	Kraft [Pa]
285,00	9,81	1,176	2377,44

Og regnet ut hvor stort vekt dette tilsvarer på prøvestykket som ble benyttet i laboratorietesten.

Reell kraft [Pa]	Areal [m ²]	Ønsket kraft [N]	Ønsket påført vekt [kg]
2377,44	0,00344	8,1784	0,8337

Som følge av at vi på testgulvet hadde en initialbelastning tilsvarende under 1 kg i laboriatorietesten, ble det besluttet å benytte den laveste måleverdien for deformasjon i videre beregninger, altså 4,4 mm deformasjon pr 5 kg vekt.

$$E = \frac{\sigma}{e} = \frac{\frac{5 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2}{3440 \text{ mm}}}{\frac{4,4}{18,3}} = 0,0593$$

Vedlegg B: Måledata

Måletallene som ligger bak friksjonsmålingene og måling av ballsprett er utelatt i oppgaven, og presentert her i Vedlegg B.

	1	2	3	4	5	6	Median	Gj.snitt
Ubehandlet	0,464	0,426	0,397	0,388	0,402	0,397	0,400	0,412
Gulvlakk	0,359	0,350	0,355	0,345	0,374	0,359	0,357	0,357
Dansegulv	0,359	0,350	0,341	0,331	0,322	0,312	0,336	0,336
Linolje	0,397	0,369	0,378	0,359	0,407	0,388	0,383	0,383

Tabell 21: Data fra friksjonsmålinger

For målingene av ballsprett måtte det gjøres ny referansemåling på betong før hvert gulv ble testet, ettersom de ble testet på ulike dager, og luft siva ut av ballen over tid.

Betong	Tid [s]	Spretthøyde [m]	Testgulv 1a	Tid [s]	Spretthøyde [m]
1	1,049	1,290	1	0,980	1,122
2	1,051	1,295	2	0,983	1,129
3	1,05	1,292	3	0,985	1,134
4	1,048	1,287	4	0,980	1,122
5	1,052	1,297	5	0,977	1,115
Median		1,292	Median		1,122
		RELATIV BALLSPRETT	86,8 %		

Tabell 22: Resultater for måling av ballsprett for testgulv 1a

Betong	Tid [s]	Spretthøyde [m]	Testgulv 1b	Tid [s]	Spretthøyde [m]
1	1,055	1,305	1	0,980	1,122
2	1,055	1,305	2	0,981	1,124
3	1,056	1,307	3	0,983	1,129
4	1,058	1,313	4	0,986	1,136
5	1,056	1,307	5	0,982	1,126
Median		1,307	Median		1,126
		RELATIV BALLSPRETT	86,2 %		

Tabell 23: Resultater for måling av ballsprett for testgulv 1b

Betong	Tid [s]	Spretthøyde [m]	Testgulv 2	Tid [s]	Spretthøyde [m]
1	1,060	1,318	1	0,992	1,150
2	1,063	1,325	2	0,991	1,148
3	1,061	1,320	3	0,997	1,162
4	1,063	1,325	4	0,995	1,157
5	1,057	1,310	5	0,988	1,141
Median		1,320	Median		1,150
		RELATIV BALLSPRETT	87,1 %		

Tabell 24: Resultater for måling av ballsprett for testgulv 2