

Lijmen & Hechting

De wondere wereld
van lijmen en hechten



gecertificeerde
NLT module
voor havo

Colofon



De module 'Lijmen en hechting' is bestemd voor de lessen Natuur, Leven en Technologie (NLT). De module is op 4 juni 2009 gecertificeerd door de Stuurgroep NLT voor gebruik op het havo in domeinI, Gemak dient de mens. Het certificeringsnummer van de module is 2013-032-HI.

De originele gecertificeerde module is in pdf-formaat downloadbaar via

► <http://www.betavak-nlt.nl>.

Op deze website staat uitgelegd welke aanpassingen docenten aan de module mogen maken, voor gebruik in de les, zonder daardoor de certificering teniet te doen.

De module is gemaakt in opdracht van het Landelijk Ontwikkelpunt NLT. Deze module is ontwikkeld door

- Bataafs Lyceum, Hengelo, Hepke Buma, Rob Buter en Benno Hams, ► <http://www.bataafslyceum.nl>
- Montessori College Twente, Hengelo, Han Vermaat, ► <http://www.montessoricollegetwente.nl>
- CSG Noordik, Almelo, Aukje Hoogwijk, Talitha Visser, ► <http://www.noordik.nl>.

Met dank aan het Hechtingsinstituut van de TU Delft, dr. J.A. Poulis (directeur)

Aangepaste versies van deze module mogen alleen verspreid worden, indien in dit colofon vermeld wordt dat het een aangepaste versie betreft, onder vermelding van de naam van de auteur van de wijzigingen.

Materialen die leerlingen nodig hebben bij deze module zijn beschikbaar via het vaklokaal NLT:

► <http://www.vaklokaal-nlt.nl/>

© 2009. Versie 1.0

Het auteursrecht op de module berust bij Stichting Leerplan Ontwikkeling (SLO). SLO is derhalve de rechthebbende zoals bedoeld in de hieronder vermelde creative commons licentie.

De auteurs hebben bij de ontwikkeling van de module gebruik gemaakt van materiaal van derden en daarvoor toestemming verkregen. Bij het achterhalen en voldoen van de rechten op teksten, illustraties, enz. is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Mochten er desondanks

personen of instanties zijn die rechten menen te kunnen doen gelden op tekstgedeeltes, illustraties, enz. van een module, dan worden zij verzocht zich in verbinding te stellen met SLO.

De module is met zorg samengesteld en getest. Landelijk Ontwikkelpunt NLT, Stuurgroep NLT, SLO en auteurs aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor onjuistheden en/of onvolledigheden in de module. Ook aanvaarden Landelijk Ontwikkelpunt NLT, Stuurgroep NLT, SLO en auteurs geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit (het gebruik van) deze module.



Voor deze module geldt een Creative Commons Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland Licentie

► <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl>

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Leerdoelen	1
Beoordeling.....	2
1 De toepassing van lijm	4
1.1 Inleiding.....	4
1.2 Zoeken in PDF-bestanden	5
1.3 Praktische opdracht: poster maken van lijmtoepassingen.....	6
2 Theorie en praktijk van het hechten aan een oppervlak	8
2.1 Inleiding.....	8
2.2 Praktische opdracht: krachten meten.....	9
2.3 Lijmtheorie	11
3 Constructies met gelijmd hout.....	13
3.1 Inleiding.....	13
3.2 Multiplex	13
3.3 Gelamineerd hout	16
3.4 Praktische opdracht: hoe lijm je hout het beste aan elkaar?	16
4 Lijm: Wat is dat eigenlijk?.....	17
4.1 Inleiding.....	17
4.2 Zelf lijm maken	17
4.3 Praktische opdracht: zelf lijm maken	18
4.4 Praktische opdracht: de beste lijm maken	19
4.5 Verschillende eigenschappen van lijm	19
4.6 Praktische opdracht: het maken van een productblad	20
5 Constructies.....	21
5.1 Inleiding.....	21
5.2 Praktische opdracht: sterktebepaling	21
5.3 Sterkte van eenvoudige constructies.....	25
5.4 Brugconstructies	26
6 Eindopdracht: bouwen van een brug.....	32
6.1 Specifieke belasting.....	32
6.2 Het ontwerpproces	32
6.3 Ontwerpeisen	32
6.4 De bezwijkingstest	33

Voorwoord



In de module ‘lijmen en hechting’ ga jij je verdiepen in de chemische en de fysische achtergronden die bepalen of materialen wel of niet aan elkaar vastgeplakt kunnen worden. Houtlijm is geschikt om twee stukken hout aan elkaar te plakken, maar twee stukken ijzer lukt niet. Wat je waarschijnlijk niet weet, is dat je dit al kunt verklaren met de kennis van de scheikunde en de natuurkunde die je nu hebt.

In de komende weken zul je bezig zijn met het zoeken naar toepassingen van lijm in je naaste omgeving en met de theorie die nodig is om het lijmproces te begrijpen. Je gaat zelf een lijm maken, testen en beschrijven in een zogenaamd productblad. Daarna ontwerp je een zo sterk mogelijke houten brug. Tot slot bouw je deze brug met je eigen lijm.

Alle informatie vind je op een uitgebreide website (de *lijmsite* genoemd) met filmpjes, presentaties en teksten over -vooral- lijmen en hechten. Aan het gebruik van verf, lak en andere coatings op verschillende ondergronden besteden we in deze module niet uitgesproken aandacht, maar dit aspect kan bijvoorbeeld een vervolg krijgen in een profiel-werkstuk.

Om op de lijmsite te komen: ga naar <http://www.beta-oost.nl> en klik door naar ‘NLT’ en daarna naar ‘Materialen’.

Leerdoelen

Na de bestudering en het maken van de opdrachten van hoofdstuk 1 kun je:

- het verschil aangeven tussen een mechanische verbinding en een verbinding met lijm
- voordelen van het gebruik van lijm ten opzichte van een mechanische bevestigingsmethode benoemen
- zoeken in meerdere Adobe-files (pdf-files) tegelijk
- verbindingen met lijm herkennen en becommentariëren.

Na de bestudering en het maken van de opdrachten van hoofdstuk 2 kun je:

- het verschil aangeven tussen de verschillende inter- en intramoleculaire bindingen
- door middel van een veerunster het verschil bepalen in “lijm”kracht van lucht, water en benzine
- het verschil in koppelmomenten verklaren.

Na de bestudering en het maken van de opdrachten van hoofdstuk 3 kun je:

- het verschil tussen massief en verlijmd hout benoemen
- voorbeelden van verlijmd hout benoemen
- voordelen van verlijmd hout ten opzichte van massief hout aangeven
- de structuur van triplex en multiplex beschrijven
- triplex maken en aantonen dat dit sterker is dan het oorspronkelijke materiaal
- beredeneren dat een houten constructie beter tegen brand is bestand dan een metalen of betonnen constructie
- beschrijven hoe met lijm en hout grote houten balken te maken zijn.

Na bestudering en het maken van de opdrachten van hoofdstuk 4 kun je:

- verschillende soorten lijm benoemen
- het principe van de werking van veel lijmen beschrijven
- weten wat wordt bedoeld met de uitharding van lijm
- vreemde eenheden omrekenen in SI-eenheden
- zelf een eenvoudige lijm maken aan de hand van een voorschrift
- door variaties in het recept verschillende lijmen maken
- door een testopstelling verschillende lijmen met elkaar vergelijken
- een lijm karakteriseren en beschrijven in een productblad.

Na de bestudering en het maken van de opdrachten van hoofdstuk 5 kun je:

- de definities van de volgende begrippen benoemen: trekspanning, drukspanning, neutrale lijm, oppervlakte traagheidsmoment en constructie
- eigenschappen van eenvoudige constructies onderzoeken.

Na de bestudering en het maken van de opdrachten van hoofdstuk 6 kun je:

- de specifieke belasting van de door jezelf gemaakte brug berekenen
- een technisch ontwerp maken van een brug
- ontwerpisen formuleren
- een ontwerpverslag maken
- een product maken met de ontwerpcyclus, zoals beschreven staat in de ►NLT Toolbox bij de instructies over technisch ontwerpen.

Beoordeling



In de leerlingentekst zijn vragen opgenomen die bedoeld zijn om je te laten nadenken over de aangeboden informatie. Voor deze module moet je alle opdrachten en vragen in de tekst beantwoorden. Pas als dit foutloos is gebeurd, mag je door naar het volgende deel. Daarnaast word

je beoordeeld op de praktische opdrachten aan het eind van elk hoofdstuk.

Beoordelingsmatrix		
Hoofdstuk 1		
- Praktische opdracht: poster maken van lijmtoeepassingen	10	pnt.
Hoofdstuk 2		
- Praktische opdracht: krachten meten	10	pnt.
Hoofdstuk 3		
- Opdracht 8.4: berekening dichtheid van de gebruikte lijm uit balsatriplex.	5	pnt.
- Praktische opdracht: hoe lijm je hout het beste aan elkaar?	5	pnt.
Hoofdstuk 4		
- Praktische opdracht: zelf lijm maken		
- Praktische opdracht: de beste lijm maken		
- Praktische opdracht: het maken van een productblad	10	pnt.
Hoofdstuk 5		
- Praktische opdracht: sterktebepaling	15	pnt.
Hoofdstuk 6		
- Opdracht: ontwerpen brug (§ 6.2)	15	pnt.
- Opdracht: testen brug (§ 6.3)	20	pnt.

We wensen je veel plezier met het doorwerken van de module 'lijmen en hechting'.

1 De toepassing van lijm

1.1 Inleiding



Eeuwenlang zijn mensen al bezig geweest met het aan elkaar vastmaken van materialen. Dat varieert van het maken van kleding met behulp van primitieve naalden en pezen uit geslachte dieren, tot het hedendaagse gebruik van ultramoderne, computergestuurde machines waarmee Glare (zie opdracht 1.4) wordt gefabriceerd. Ook spijkers, schroeven en nietjes zijn voorbeelden van hulpmiddelen om materialen ‘mechanisch’ aan elkaar bevestigen.

In deze module kijk je vooral naar chemisch-fysische bevestigingsmethodes: het gebruik van *lijmen*. Zeker moderne lijmen worden op verrassende manieren toegepast: in ziekenhuizen om bijvoorbeeld botsplinters weer vast te zetten, om slotjes van orthodontische beugels op tanden vast te zetten, om vliegtuigen in elkaar te zetten, enz. Hoewel daar in deze module nauwelijks aandacht aan wordt besteedt, kun je met dezelfde theoretische benadering ook begrijpen waarom verf en lak op het ene oppervlak goed, en op het andere helemaal niet hechten.

1. Opdracht

Lees hoofdstuk 1 van de lijmsite over ‘De toepassing van lijm’ en geef daarna antwoord op de volgende vragen.

1.1 Bevestigingsmethodes

- Bekijk het filmpje onder de link ‘*verbindingsmethodes*’ op de lijmsite. Noem vijf mechanische bevestigingsmethodes.
- Noem drie voordelen van het gebruik van lijm in plaats van een mechanische bevestigingsmethode.

1.2 Bottenlijm

Bekijk de links ‘lijmsort’ en ‘botbreuken’ in hoofdstuk 1 van de lijmsite. Welk beestje heeft het idee van de bottenlijm aangedragen?

1.3 Beugel

Raadpleeg op de lijmsite in § 4.3 de link ‘uitharding van lijm’ en in § 4.7.6 de link ‘plaatsen van een beugel’.

- Waarmee wordt het uitharden van orthodontistenlijm op gang gebracht?
- Beschrijf in je eigen woorden hoe de hechting van de slotjes op de tanden tot stand komt.

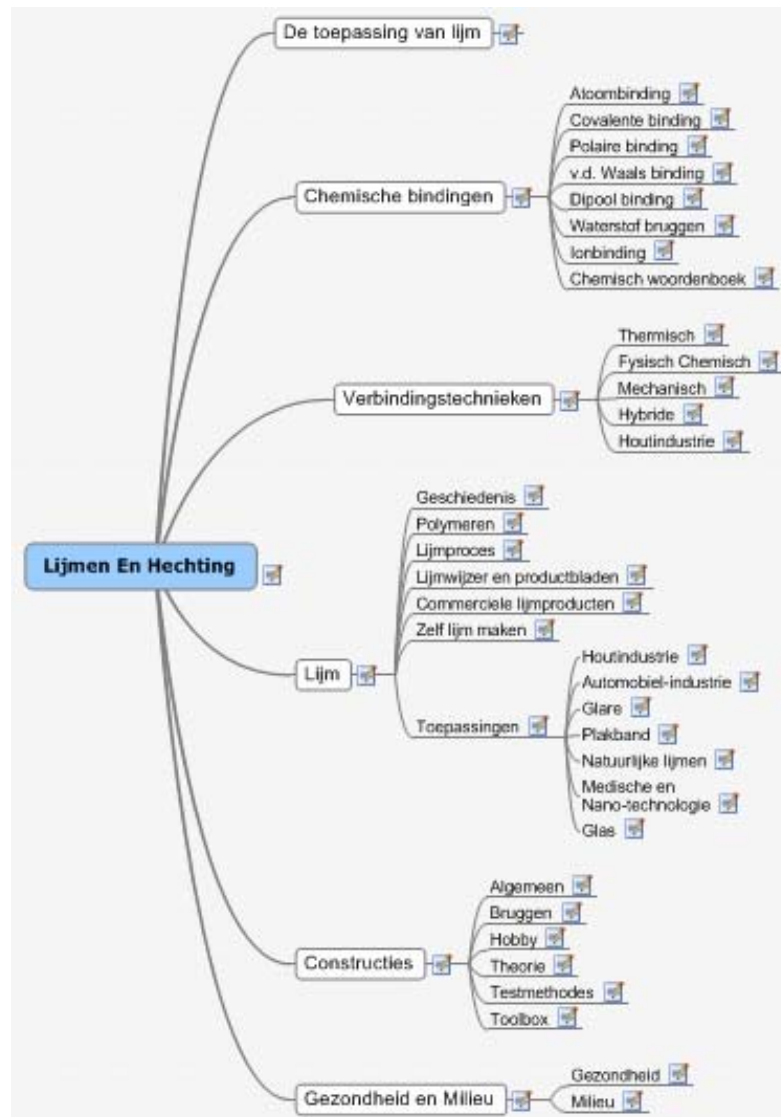
1.4 Glare

Bekijk in hoofdstuk 1 van de lijmsite het filmpje van 'Het Klokhuis' en lees de artikelen over Glare in § 4.7.3 van de lijmsite.

- Van welke woorden is Glare de afkorting?
- Van welk materiaal is Glare de opvolger?
- In het artikel wordt Glare vergeleken met een bepaald houtproduct uit de hobbywinkel: welk product?
- Door welk instituut is Glare ontwikkeld, en in welk vliegtuig zal het worden gebruikt als materiaal voor de romp?
- Noem drie voordelen van Glare ten opzichte van aluminium.
- Wat is het gevaar van vermoeingscheuren bij vliegtuigen?

1.2 Zoeken in PDF-bestanden

In figuur 1 staat de opbouw van de lijmsite.



Figuur 1: opbouw van de lijmsite

2. Opdracht: zoekfunctie

Bekijk de link 'de website instructiefilm' in hoofdstuk 1 van de lijmsite en beantwoord de volgende vragen.

2.1 DAF

Gebruik figuur 1.

- Open de inhoudsopgave van de lijmsite via de link rechtsboven. Voorspel in welke paragraaf je iets over de toepassing van lijmen in DAF-vrachtwagens zult vinden.
- Open Adobe Reader en start de zoekfunctie. Zoek op de cd-rom of op de USB-stick (deze heeft je docent) op de term: **DAF**. In hoeveel artikelen wordt DAF genoemd en hoeveel keer valt de naam DAF in dat/die artikel(en)?

2.2 Gelijmde constructies

Open Adobe Reader en start de zoekfunctie. Zoek op de term: **gelijmde constructies**. In hoeveel artikelen wordt deze term genoemd en hoeveel keer in elk artikel?

1.3 Praktische opdracht: poster maken van lijmtoeepassingen

- Vorm groepjes van 3 à 4 personen.
- Per groepje moet een digitale camera (of telefoon met camera) beschikbaar zijn.

3. Opdracht

3.1 Foto's

Fotografeer in één van de volgende omgevingen toepassingen van lijmen in diverse situaties:

- school
- thuis
- werk
- straat
- sport(club)
- uitgaansleven.

3.2 Lijmverbinding

Geef aan wat voor soort lijmverbinding het is:

- Is er sprake van harde of flexibele lijm?
- Is er sprake van een dunne of een dikke lijmnaad?
- Is de verbinding ook op een andere manier te maken?

3.3 Poster

Maak een poster (4 - 7 foto's) op A3-formaat. Een voorbeeldposter kun je vinden op de lijmsite als je de link 'sporten' in hoofdstuk 1 van de lijmsite aanklikt.

Tijdens de eerstvolgende bijeenkomst worden alle posters tentoongesteld.

Bespreek met elkaar of de gebruikte verbinding ook op een andere manier had kunnen worden gemaakt. Zo ja, hoe dan? Zo nee, waarom niet?

Plak je commentaar met een memosticker (Post-It) bij de desbetreffende foto op de poster.

2 Theorie en praktijk van het hechten aan een oppervlak

2.1 Inleiding



In het eerste hoofdstuk hebben jullie kennis gemaakt met het verschijnsel lijmen en hechten in een aantal toepassingen in het dagelijkse leven en in de techniek. In dit hoofdstuk gaan jullie krachten meten met een veerunster. Hierdoor krijg je een beeld van de factoren die de hechting aan het oppervlak van een vaste stof beïnvloeden. Je gaat twee glasplaatjes aan elkaar plakken met lucht (droog), met benzine en met water. Je meet de verschillen in *hechtkracht*. Op deze manier spelen alleen de krachten tussen de oppervlakken van het glas en de moleculen van het “hechtmiddel” een rol.

4. Opdracht

Lees hoofdstuk 2 van de lijmsite over ‘Chemische bindingen’, bekijk de filmpjes over verschillende bindingstypes en beantwoord de onderstaande vragen. Verdere informatie kun je vinden in de hoofdstukken uit je scheikundeboek over chemische binding.

4.1 Chemische binding

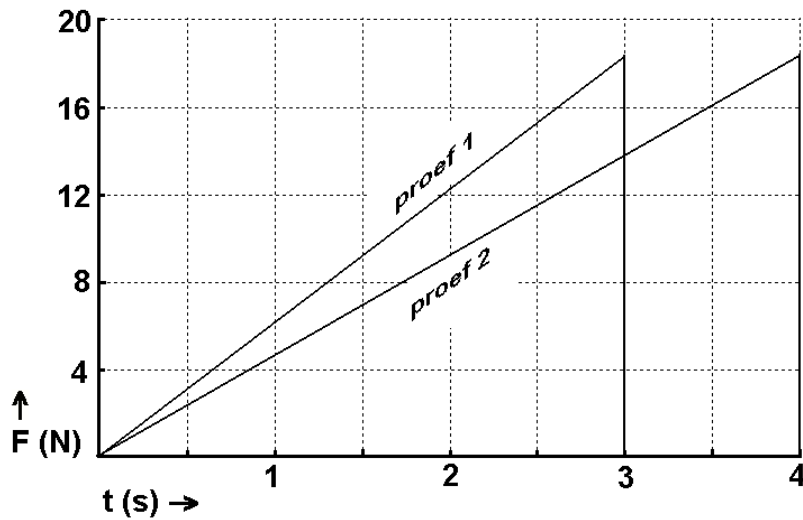
- Welke twee soorten elementen zijn er?
- Bij welke soort atomen komen tussen de atomen atoombindingen voor?
- Leg uit of er verschil is tussen atoombindingen en covalente bindingen.
- Welk verschil is er tussen atoombindingen en polaire bindingen?
- Zoek de molecuulformules van water en benzine op en leg uit welke bindingen in beide molecuulsoorten een rol spelen, en welke bindingen tussen beide molecuulsoorten een rol spelen.
- Bij welke stof zijn de bindingen tussen de moleculen het sterkst: bij water of bij benzine? Leg kort uit waarom je dit antwoord geeft!

4.2 Gelijmde plaatjes

Twee glazen plaatjes werden aan elkaar gelijmd en vervolgens werd er steeds meer kracht uitgeoefend, tot de plaatjes loslieten. In figuur 2 zie je twee grafieken van deze proefjes.

- Bij hoeveel newton lieten de plaatjes los bij proef 1 en bij proef 2?
- Na hoeveel tijd lieten de plaatjes los bij proef 1 en bij proef 2? Verklaar het verschil.
- Hoe kun je ervoor zorgen dat je bij deze proef zo eerlijk mogelijk meet?

d. Hoe kun je ervoor zorgen dat je resultaten betrouwbaarder worden?



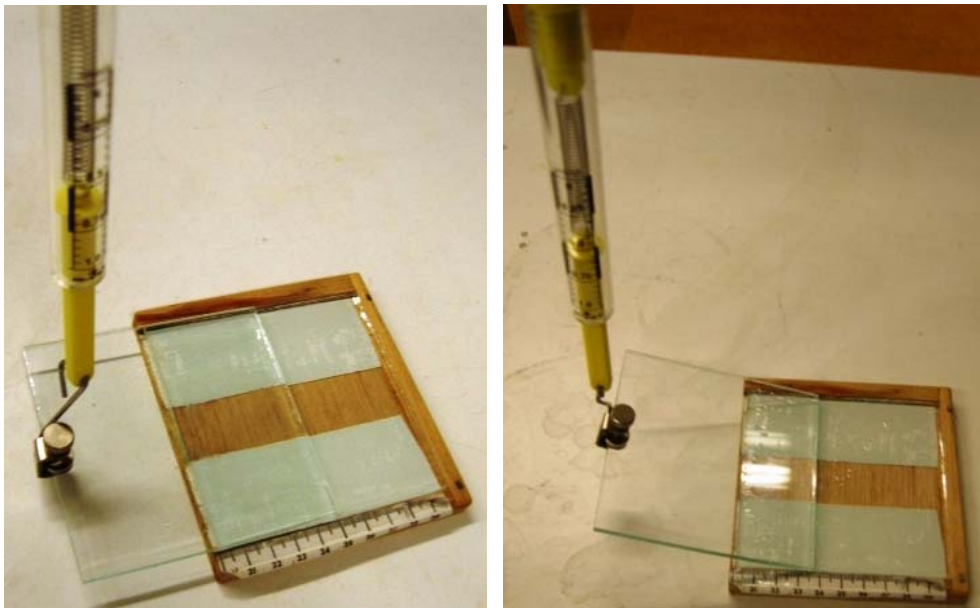
Figuur 2: grafieken bij proef met gelijkde plaatjes.

2.2 Praktische opdracht: krachten meten



Bekijk eventueel nog eens in hoofdstuk 1 van de lijmsite de link 'Het Klokhuis'.

Bij deze opdracht ga je de kracht van verschillende soorten 'lijm' meten. Hiertoe leg je twee glazen plaatjes op elkaar zoals in figuur 3 en onderzoek je welke kracht nodig is om de plaatjes van elkaar los te trekken. Vorm groepjes van 3 à 4 leerlingen. Voor elk groepje is een experimenteersetje aanwezig.



Figuur 3: opstelling proef 'krachten meten'.

Lucht als lijm

- Maak de glasplaatjes zorgvuldig schoon met alcohol en zorg dat ze droog zijn.
- Bouw de opstelling van de foto's in figuur 3 na en meet met een veerunster hoeveel kracht er nodig is om de droge glasplaatjes van elkaar te krijgen. Doe elke meting 5 keer en bepaal dan het gemiddelde.
- Bereken het moment (zie in § 5.4 van de lijmsite de link 'Moment').

Water als lijm

- 'Lijm' een tweetal glasplaatjes met enkele druppels water aan elkaar op dezelfde manier als in de link 'Het Klokhuis' van hoofdstuk 1 van de lijmsite
- Meet de kracht die nodig is om de glasplaatjes los van elkaar te krijgen. Doe elke meting vijf keer en bepaal het gemiddelde.
- Bereken weer het moment.
- Maak beide glasplaatjes grondig schoon met alcohol en zorg dat ze weer droog zijn.

Benzine als lijm

- 'Lijm' een tweetal glasplaatjes met enkele druppels benzine aan elkaar op dezelfde manier als in de link 'Het Klokhuis' van hoofdstuk 1 van de lijmsite
- Meet de kracht die nodig is om de glasplaatjes los van elkaar te krijgen. Doe elke meting vijf keer en bepaal het gemiddelde.
- Bereken weer het moment.
- Maak beide glasplaatjes grondig schoon met alcohol en zorg dat ze weer droog zijn.

5. Opdracht: uitwerking proef krachten meten.

- a. Teken de structuur van het oppervlak van een glasplaatje (lijmsite § 4.7.7, link 'glas')
- b. Leg uit welk type binding(en) hier bij past.
- c. Verklaar of het glasoppervlak hydrofiel of juist hydrofoob is.
- d. Leg uit waarom water in een drinkglas 'tegen het glas omhoog kruipt'.
- e. Geef een verklaring voor de gemeten verschillen in de momenten. Gebruik hiervoor de antwoorden op opdracht 4.1 en de informatie in § 4.7.7 van de lijmsite. Informatie over polymeren kun je vinden in § 4.3 van de lijmsite bij chemische lijmreacties.
- f. Leg uit of de dikte van de vloeistoflaag wel of geen invloed heeft op het gemeten moment. Zie op de lijmsite in § 4.3 de link 'uitharding van de lijm'.



2.3 Lijmtheorie

De aard van een te lijmen oppervlak (het substraat) en de wisselwerking van het substraat met de moleculen van de tussenstof (lijm) hebben invloed op de sterkte van de lijmverbinding. In de voorgaande paragrafen heb je van die invloed een indruk kunnen krijgen. Deze wisselwerking tussen de moleculen van het oppervlak en de moleculen van de lijm wordt *adhesie* genoemd. Ook de sterkte van de wisselwerking tussen de lijm-moleculen onderling is van belang (denk aan de sterkte van de waterstofbruggen tussen watermoleculen in vergelijking met de vanderwaalskrachten tussen benzinemoleculen). De wisselwerking tussen de lijm-moleculen onderling wordt *cohesie* genoemd.

6. Opdracht

Lees § 4.3 van de lijmsite en beantwoord de onderstaande vragen.

6.1 Hechting

Lees de link met het overzichtsverhaal onder de derde lijmtube (LijmKit) in § 4.3 van de lijmsite.

- Welke drie soorten hechting door adhesie worden onderscheiden?
- Geef in je eigen woorden weer hoe elk type hechting tot stand komt. Lees de tekst van § 4.3 van de lijmsite.
- In welke zes stappen kun je het lijmproces opdelen?
- In welke stap van het lijmproces worden eventueel hechtverbeteraars gebruikt?
- Een veel gebruikte hechtverbeteraar wordt meestal ‘primer’ genoemd. Leg kort uit wat een primer doet.

6.2 Beïnvloeding lijmproces

Normaal gesproken worden stoffen als lucht, water en benzine niet als lijm gebruikt (hoewel hun aanwezigheid op de te lijmen onderdelen het lijmproces behoorlijk kan beïnvloeden!).

Leg uit wat met bovenstaande bewering bedoeld kan worden.

6.3 Lijmreacties

De lijmen die wij gebruiken, verschillen van lucht, water en benzine omdat ze van structuur veranderen tijdens het uithardingsproces. Lees in § 4.3 van de lijmsite het deel over lijmreacties. Hierin worden twee typen lijmen besproken die op principiële verschillende manieren uitharden.

- Leg uit welke twee lijmsorten worden onderscheiden.
- Geef van beide typen lijmen vijf voorbeelden waaruit het verschil duidelijk blijkt.
- Leg uit of door het uitharden de cohesie, de adhesie of beide wisselwerkingen worden beïnvloed. Bekijk ook de link ‘*uitharding van de lijm*’.

Je kunt veel informatie verkrijgen over de sterkte van een lijmverbinding door het faalmechanisme te bestuderen. Het kapot gaan van een lijmverbinding kan op drie manieren gebeuren: het substraat breekt, de hechting tussen de lijm en het substraat breekt of de lijmlaag zelf breekt

7. Opdracht: lijmfalen

Lees de link '[Lijmfaalmechanismen](#)' in § 4.3 van de lijmsite.

- a. Leg uit waarom het geen zin heeft een sterkere lijm te proberen als het substraat breekt.
- b. Welk van de drie faalmechanismes is meestal de oorzaak van falende lijmverbindingen?
- c. Wat wordt genoemd als de twee belangrijkste veroorzakers van adhesieve breuk?
- d. Hoe wordt het breken van de lijmverbinding zelf genoemd?
- e. Als een lijmverbinding onder constante belasting wordt gehouden, kan er breuk door 'pellen' optreden. Leg in je eigen woorden uit wat er met 'pellen' wordt bedoeld.
- f. Maak een tekening van een lijmlaag tussen twee stukken substraat. Geef met pijlen aan waar een cohesieve breuk, een adhesieve breuk en een materiaalbreuk kan optreden.

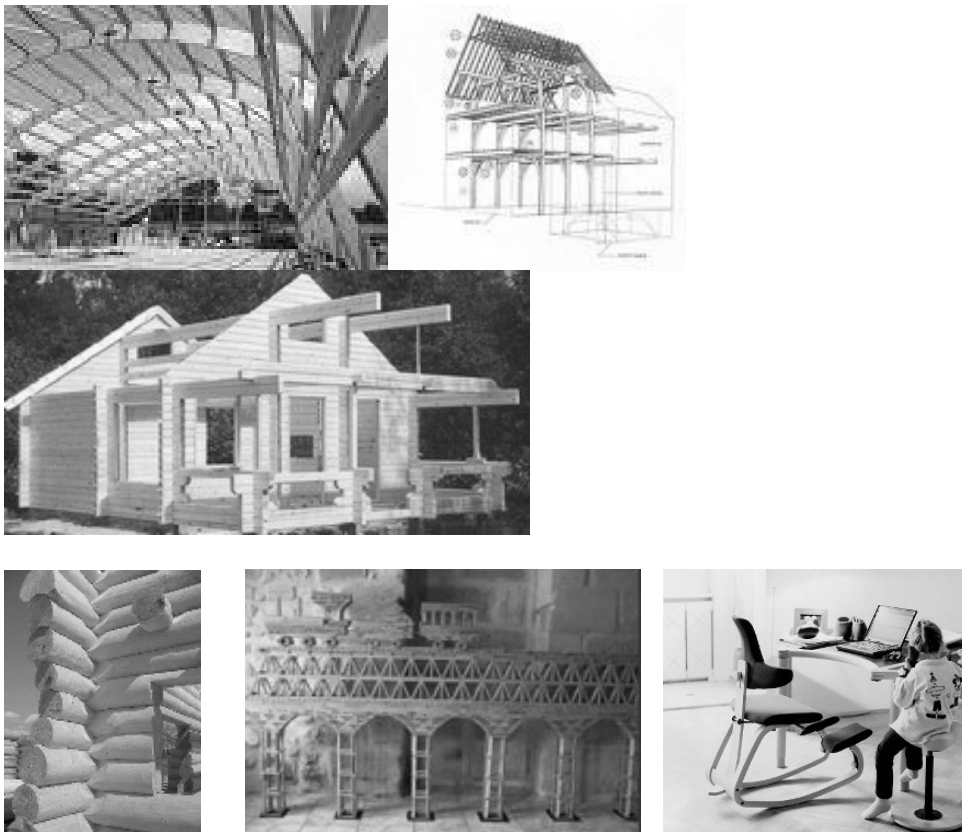
3 Constructies met gelijmd hout

3.1 Inleiding



Hout is als constructiemateriaal al bijna zo oud als de mensheid zelf. Vanaf het moment dat nomaden zich gingen vestigen op een vaste plek en hun eerste nederzettingen bouwden, heeft de mens gebruik gemaakt van hout. Vandaag de dag is hout nog steeds actueel niet alleen als constructiemateriaal om huizen van te bouwen maar ook als grondstof voor allerlei gebruiksvoorwerpen. Er zijn zoveel soorten hout, met elk weer verschillende kenmerkende eigenschappen dat er voor bijna elke toepassing wel een geschikte houtsoort is te vinden.

Afhankelijk van de toepassing gebruik je massief of verlijmd hout. Als je hout nodig hebt in afmetingen die niet in de vrije natuur voorkomen, zoals platen van 2 bij 2 meter, lange balken (spanten) van 50 meter of een gebogen onderstel van een stoel, dan zul je met behulp van hout en lijm de juiste vorm moeten maken.



Figuur 4: hout als constructiemateriaal.

3.2 Multiplex

Opdracht 8 heeft betrekking op het verlijmen van hout voor verschillende toepassingen.

8. Opdracht

Lees § 3.5 van de lijmsite en beantwoord de onderstaande vragen.

8.1 Proef nerfrichting

De sterkte van hout hangt af van de nerfrichting, de richting waarin de nerven van het hout lopen.

- Neem een stukje balsahout of fineer en probeer dit op twee manieren te breken: loodrecht op de nerfrichting en evenwijdig aan de nerfrichting. Op welke manier gaat dit het gemakkelijkst?
- Leg twee stukjes balsahout of fineer op elkaar. Let erop dat de nerfrichting van beide stukjes hout loodrecht op elkaar staan. Probeer het geheel te breken. Gaat dit gemakkelijker of minder gemakkelijk dan met één stukje?
- Leg nu drie stukjes balsahout of fineer op elkaar, waarbij de nerfrichting van het middelste stukje loodrecht staat op de nerfrichting van de buitenste stukjes. Gaat dit gemakkelijker of minder gemakkelijk dan met twee stukjes?

8.2 Multiplex

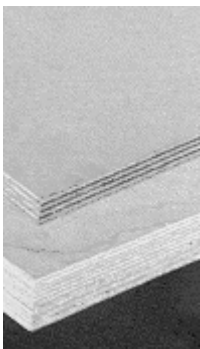
Een bekend houten plaatmateriaal is triplex of multiplex.

- Lees de link 'Multiplex' in § 3.5 van de lijmsite. Leg uit hoe multiplex wordt gemaakt.
- Maak een duidelijke tekening van de opbouw van een stukje triplex. Houd hierbij rekening met de nerfrichting.
- Leg uit waarom men het op deze manier maakt.
- Leg uit wat bedoeld wordt met 'gekruiste lagen'.
- Geef een reden waarom multiplex altijd een oneven aantal lagen bevat.
- In de link 'Multiplex' in § 3.5 van de lijmsite staat dat het eindmateriaal sterker is dan het oorspronkelijke materiaal. Hoe kan dit?

8.3 Dichtheid

Ook al is de gebruikte lijmlaag nog zo dun, deze heeft wel degelijk invloed op het uiteindelijke materiaal. Zo kan het eindmateriaal niet alleen sterker worden, maar zal ook de dichtheid van het materiaal veranderen.

Stel: je neemt een plaat balsahout van 10 cm bij 10 cm met een dikte van 1,0 cm en je zaagt deze precies middendoor zodat je twee gelijke plaatjes (van 10 cm bij 10 cm) krijgt. Door het zagen verlies je natuurlijk altijd wat van het materiaal, hierdoor krijg je uiteindelijk twee plaatjes



Figuur 5: multiplex.

met elk een dikte van 0,475 cm. Deze twee plaatjes lijm je vervolgens weer aan elkaar met een houtlijm die een dichtheid heeft van $0,9 \text{ kg dm}^{-3}$. De gebruikte lijm laagdikte is 0,5 mm.

Gegevens over de verschillende houtsoorten kun je vinden in BINAS tabel 10.

- Bereken met hoeveel procent het volume is toegenomen door het aan elkaar lijmen van twee plaatjes ten opzicht van het massief houten plaatje (met een dikte van 1 cm) waarmee je begonnen bent.
- Bereken met hoeveel procent de massa in totaal is toegenomen nadat je het laminaat gemaakt hebt.
- Wat is de dichtheid van dit balsalaminaat ten opzichte van het oorspronkelijke balsahout?
- Beredeneer wat er met de dichtheid van ebbenhout gebeurt als je daarvan op precies dezelfde manier een identiek laminaat maakt.

8.4 Triplex

Lees in § 3.5 van de lijmsite de link 'De wereld van een modelbouwer'. In het verhaal wordt de massa van massief balsahout vergeleken met een balsatriplex. Hieronder staat een tekening van de doorsnede van een stukje triplex. Reken met behulp van de gevonden gegevens de dichtheid uit van de gebruikte lijm in het balsatriplex door de volgende vragen te beantwoorden.

- Neem aan dat een laagje balsahout in het balsatriplex 1,0 gram weegt. Volgens Binas tabel 10 is de dichtheid van hout(balsa) $0,15 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.
Bereken nu het oppervlak van het laagje balsahout in het triplex.
- Bereken het volume van het lijm laagje in het triplex.
- Bereken de totale massa van het balsahout in het stukje triplex.
- Bereken de massa van alle lijm in het triplex.
- Bereken de dichtheid van de lijm in het triplex.
- Vergelijk deze gevonden dichtheid met de dichtheid van houtlijm uit de Bison lijmwijzer (link 'Bison-algemeen' in § 4.4 van de lijmsite; je moet enkele keren doorklikken om op de goede bladzijde te komen).

Balsa	1,5 mm
Lijm	0,08 mm

Figuur 6: dwarsdoorsnede Balsa Triplex.

8.5 Uitharding triplex

In het verhaal van de modelbouwer (§ 3.5 van de lijmsite) wordt gesteld dat de uitharding veel langer duurt dan de dertig minuten die de fabrikant opgeeft.

- Zie in § 4.3 van de lijmsite de link 'uitharding van de lijm'.
Welke soorten reacties kun je bij het verlijmen onderscheiden?
- Welke soort uithardingreactie gebruikt de modelbouwer voor het maken van zijn triplex?
- Geef een verklaring voor het verschil in uithardingstijd.

3.3 Gelamineerd hout



Gelamineerd hout wordt vervaardigd door meerdere lagen hout op elkaar te verlijmen. Het hout is geselecteerd op natuurlijke onvolkomenheden, die voor de verlijming worden verwijderd. Hierdoor ontstaat een constructief hoogwaardige balk, die homogener van structuur is dan een balk van massief hout. Tevens laat gelamineerd hout of ook wel lijmhout zich gemakkelijk bewerken en is het dus een constructiemateriaal dat een aantal duidelijke voordelen biedt. (Bron: Withagen Houtproducten)



Figuur 7: gelamineerd hout.

9. Opdracht

9.1 Ontwerp van een balk

Je hebt houten planken van 10 meter lang, 10 cm breed en 2 cm dik en een flinke pot lijm. Hiervan moet je een balk maken van 50 meter lang, 18 cm hoog en 10 cm dik. Je mag waar nodig de planken doorzagen.

- Bereken hoeveel planken je minimaal nodig hebt.
- Maak een tekening van de lengtedoorsnede en een tekening van het uiteinde van de balk.

9.2 Een vreemd voordeel!?

Bekend is dat hout goed brandt en metaal of beton niet. Toch is bij een brand een houten constructie veel beter dan een metalen en/of betonnen constructie. Geef een verklaring te geven voor dit fenomeen.

3.4 Praktische opdracht: hoe lijm je hout het beste aan elkaar?

Bekijk in § 3.5 van de lijmsite de links 'powerpointpresentatie van de firma "De Groot"', 'Tacoma Dome' en 'Topjoint' .

10. Opdracht

- Teken het zijaanzicht van een vingerlas.
- Geef twee redenen waarom een vingerlas wordt gebruikt.
- Zoek nu in je eigen omgeving naar een gelamineerde balk met vingerlasconstructie en maak hiervan een foto.

4 Lijm: Wat is dat eigenlijk?

4.1 Inleiding



In dit hoofdstuk ga je zelf de lijm maken die je zult gebruiken voor het in elkaar zetten van de brug (eindopdracht hoofdstuk 6). Maar daar aan voorafgaand is het natuurlijk handig als je weet welke lijmsorten er zijn, hoe een lijm wordt gemaakt, welke (grond)stoffen er worden gebruikt en waarvoor elke grondstof dient. Om het niet te ingewikkeld te maken krijgt iedereen hetzelfde recept voor een eenvoudige basislijm. Dit recept ga je vervolgens zó aanpassen dat er een zo sterk mogelijke lijm ontstaat. De eigenschappen van deze lijm (kleur, hechtkracht, viscositeit, verwerktijd, enz.) worden in een zogenaamd *productblad* (zie § 4.5 van de lijmsite) samengevat.

11. Opdracht

- Lees de inleiding van hoofdstuk 4 van de lijmsite en de link '*lijmsorten*'. Welke soorten lijm worden hier genoemd?
- Lees de link '*Gelatine*' in § 4.6 van de lijmsite. Bij welke lijmsort hoort een lijm op basis van gelatine thuis?
- Lees van § 4.3 van de lijmsite de link '*uitharding van de lijm*'. Lees ook § 4.5 in de link '*handboek Loctite*' het hoofdstuk *Introduction: General information* (linker deel van het scherm, dubbelklikken). Vertel in je eigen woorden wat het principe is waarop de werking van veel lijmen berust.
- Geef vier verschillen aan tussen de volgende drie lijmsorten. Beschrijf de materialen die gelijmd worden, of de lijm vochtbestendig en/of UV-bestendig moet zijn en of de lijm elastisch of niet moet zijn.
 - houtlijm
 - montagelijm
 - bison kit.

4.2 Zelf lijm maken



Er zijn verschillende soorten lijm die je zelf kunt maken (§ 4.6 van de lijmsite). Een van de makkelijkste soorten is op die basis van gelatine. De bereiding is erg eenvoudig en je kunt gemakkelijk met de verhoudingen spelen om de eigenschappen te variëren. In bron 1 staat een recept dat op internet te vinden is, maar de hoeveelheden zijn niet in de gebruikelijke eenheden weergegeven.

1. Bron: lijmrecept

Benodigdheden:

- 6 eetlepels water
- 2 theelepels glycerine
- gelatine (0,5 oz.)
- 2 eetlepels azijn
- erlenmeyer of bekeerglas (100 ml)
- roerstaaf.

Bereidingswijze:

- Doe het water in de erlenmeyer en breng het voorzichtig aan de kook.
- Doe de gasbrander uit en los de gelatine langzaam op terwijl je rustig roert.
- Voeg de glycerine en azijn toe terwijl je blijft roeren.
- Deze lijm kun je gebruiken om papier en bijvoorbeeld leer aan elkaar te lijmen.

12. Opdracht

Reken het recept in bron 1 om naar een recept in grammen en milliliters. Je kunt voor het omrekenen de Binas gebruiken, maar ook in een kookboek staan soms geschikte omrekeningsfactoren.

4.3 Praktische opdracht: zelf lijm maken

Maak met je groepje wat lijm volgens het recept in bron 1 (neem hiervoor een kwart van de gegeven hoeveelheden). Zorg dat je de bereiding goed in je vingers krijgt.

13. Opdracht

Probeer door middel van een paar proefjes een globale indruk te krijgen van de eigenschappen van de gemaakte lijm. Je kunt hiervoor het beste de taken onderling verdelen.

Enkele ideeën voor je proefjes:

1. Lijm eens een paar stokjes aan elkaar vast; hoe lang duurt het voor je merkt dat de lijm zijn werk gaat doen?
2. Wordt de lijmverbinding sterker als je een grotere overlap tussen de stokjes neemt?
3. Krijg je een sterkere verbinding als je één houtje insmeert, of is het beter beide lijmvlakken in te smeren?

4. Maakt het wat uit of je de stokjes na het insmeren met lijm direct op elkaar legt of ze eerst enige tijd laat drogen en dan pas met elkaar in contact brengt?
 5.
- Noteer alle gevonden resultaten en houd hier rekening mee als je het productblad maakt.
 - Bewaar een beetje van de gemaakte lijm om te zien hoe lang je hem kunt gebruiken.

4.4 Praktische opdracht: de beste lijm maken

14. Opdracht

Maak een vijftal lijmen volgens het recept in bron 1, maar met verschillende samenstellingen. Varieer de hoeveelheden van de gebruikte ingrediënten zó, dat het eindvolume van de lijm steeds hetzelfde blijft (bijvoorbeeld: 5 in plaats van 6 eetlepels water, maar dan wel 3 eetlepels azijn in plaats van 2 eetlepels, terwijl de rest gelijk blijft). Vul hiertoe eerst de tabel in figuur 8 in.

Onderzoek van elke lijm de bruikbaarheid door ze onderling te vergelijken. Welke lijm is het sterkste en hoe lang is de droogtijd van de gemaakte lijm?

	Lijm 1	Lijm 2	Lijm 3	Lijm 4	Lijm 5
water (mL)					
glycerine (mL)					
gelatine (g)					
azijn (mL)					
totaal (mL)					

Figuur 8: tabel voor verschillende lijmsamenstellingen.

4.5 Verschillende eigenschappen van lijm



Een van de *fysisch-chemische eigenschappen* van een vloeistof is de viscositeit (stroperigheid). Deze is van belang voor de methode(s) waarmee je de lijm kunt verwerken. Ook de kleur, de droogtijd, de bestendigheid tegen temperatuurswisselingen e.d. spelen een belangrijke rol. Bestudeer voor verdere informatie de productbladen in § 4.5 van de lijmsite.

Lijm heeft ook *mechanische eigenschappen*. Daarmee worden de eigenschappen bedoeld die te maken hebben met bijvoorbeeld de sterkte van de lijm, de elasticiteit of juist de starheid van de verbinding, het optreden van vermoeidheidsverschijnselen door trillingen (bijvoorbeeld in vliegtuigvleugels), enz.

De meeste eigenschappen van een lijm moet je door middel van experimenten uitzoeken.

15. Opdracht

- a. Lees in § 4.5 van de lijmsite de links 'Bison - Bisonkit' en 'Polymax productblad'. Print deze bestanden eventueel uit. Maak een lijst van gegevens die de fabrikanten opnemen in hun productbladen.
- b. Zoek de betekenissen van de volgende begrippen die in de productbladen van Bisonkit en Polymax genoemd worden:
 - viscositeit
 - contactlijm
 - chemicaliënbestendigheid
 - vast stofgehalte
 - UV-bestendig
 - Alkydverf.
- c. Waarom zou Bisonkit adviseren poreuze materialen twee keer met lijm in te smeren en pas daarna de te lijmen oppervlakken op elkaar te persen?

4.6 Praktische opdracht: het maken van een productblad



Zoals je uit verschillende voorbeelden kunt zien (lijmsite § 2.7) worden de eigenschappen van een lijm verzameld op een productblad (voor de professionele gebruiker) of een flyer (voor de amateur-gebruiker). Hierop kan de gebruiker aflezen waarvoor de lijm wel of niet geschikt is. Ook de sterkte van de lijm is natuurlijk van belang.

16. Opdracht

Ontwerp zelf een productblad of flyer waarmee je een mogelijke koper kunt overhalen jouw lijm aan te schaffen. Naast een mooie naam voor je lijm, een fraai uiterlijk van het productblad en een wervende tekst met afbeeldingen van je lijm moet de tabel in figuur 9 met eigenschappen worden opgenomen. Uiteraard is de tabel, om moeilijkheden met de consumentenbond te voorkomen, naar waarheid ingevuld!

Eigenschap van de lijm	
productbeschrijving (kleur,verpakking)	
voor welke materialen geschikt	
verwerkingsmethode	
droogtijd	
houdbaarheid	
giftigheid en milieu(on)vriendelijkheid	
verwijderen van gemorst materiaal	

Figuur 9: tabel productblad.

5 Constructies

5.1 Inleiding



Een *constructie* is een geheel dat is samengevoegd uit meerdere onderdelen (elementen). De sterkte van een constructie hangt af van de sterkte van de elementen, de sterkte van de verbindingen, maar vooral ook van de manier waarop de elementen aan elkaar zijn gekoppeld. Je gaat uiteindelijk een brugconstructie ontwerpen, die je daarna ook moet gaan bouwen. Als constructie-elementen gebruik je ijscostokjes. Als verbinding tussen de ijscostokjes gebruik je de eigen lijm. Over de details van de brugconstructie volgt later meer.

Achtereenvolgens onderzoek je:

- de sterkte van de ijscostokjes
- de sterkte van de eigen lijm
- de sterkte van eenvoudige constructies.

Ten slotte ga je oefenen met een simulatiespel.

5.2 Praktische opdracht: sterktebepaling

Sterkte van de ijscostokjes

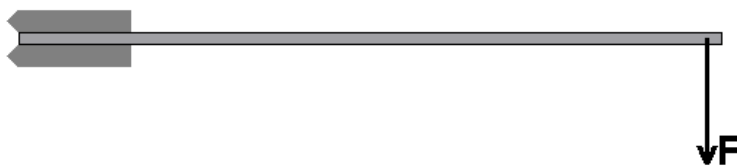
Eerst bepaal je de sterkte kwalitatief, je gebruikt als krachtsensor je eigen hand. Daarna volgt een kwantitatieve meting waarvoor je een unster gebruikt. Raadpleeg zonodig eerst § 5.4 van de lijmsite.

17. Opdracht: kracht ijscostokje

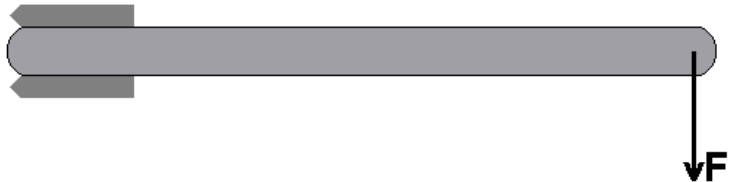
- Onderzoek de mogelijke *trekkracht* op een ijscostokje. Is het mogelijk om het stokje kapot te trekken?
- Onderzoek de mogelijke *drukkracht* op een ijscostokje. Is het mogelijk om het stokje kapot te drukken?

Vervolgens klem je een ijscostokje op twee verschillende manieren in een bankschroef zoals in figuur 10 staat afgebeeld.

plat inklemmen



dwars inklemmen



Figuur 10: inklemmen van ijscostokjes (links) in een bankschroef (rechts).

18. Opdracht: moment ijscostokje

- Onderzoek het mogelijke buigende moment op een ijscostokje door het aan de ene kant “plat” in te klemmen zoals in figuur 10 is weergegeven. Is het mogelijk om het stokje zo kapot te buigen?
- Onderzoek het mogelijke buigende moment door een ijscostokje aan de ene kant “dwars” in te klemmen. Is het mogelijk om het stokje zo kapot te buigen?
- Bepaal het maximale buigend moment van een ijscostokje. Klem het daarvoor 2,0 cm “plat” in. Waarom breekt het stokje juist op die plaats?
- Verklaar het verschil tussen de maximale buigende momenten. Gebruik daartoe natuurkundige grootheden en begrippen. (zie ook theorie in § 5.4 van de lijmsite).

TECHNISCHE GEGEVENS

Basisgrondstof : MS-polymeer.

Kleur : wit, transparant, bruin, grijs en zwart.

Vaste stofgehalte : 100%.

Dichtheid : wit, grijs 1480 kg/m³, bruin, zwart 1460 kg/m³, transpar

Viscositeit : 400 Pa.s. bij 25°C.

Velvormingstijd : ca. 20 minuten bij 20°C.

Kleefvrijheid : na ca. 4 uur.

Hardheid in shore A : kleur ca 48., transparant ca. 38

Modulus bij 100% : kleur ca. 1,00 N/mm².

Vlampunt : n.v.t.

pH : n.v.t.

Krimp : geen.

Doorharding : kleur ca. 3 mm/24 uur, transparant 1,5 mm/24 uur

Rek bij breuk : kleur ca. 400%, transparant ca. 250%

Treksterkte : kleur ca. 1,7 N/mm², transparant 2,2

HOUDBAARHEID

Bison Poly Max[®] is in goed gesloten verpakking, op een koele vors

Figuur 11: productblad professionele lijm.

Sterkte van de lijm

In hoofdstuk 4 heb je een productblad gemaakt van je “beste lijm”. Op dat productblad staan echter geen gegevens over de sterkte van je lijm. Voor professionele lijmen bestaan hiervoor uitgebreidere productbladen waar de sterkte onder andere in combinatie met temperatuur en vochtigheid wordt vermeld. Een voorbeeld staat in figuur 11.

Er bestaan verschillende methoden om de sterkte van lijm te testen. Om je resultaten goed met elkaar te vergelijken, ga je de maximale *schuifspanning* en de maximale *trekspanning*

bepalen.

Voor het testen gebruik je ijscostokjes en je “beste lijm”. Daarvan maak je zes proefstukken. Kies zelf je optimale droogtijd. Voor het inklemmen heb je weer een bankschroef nodig.

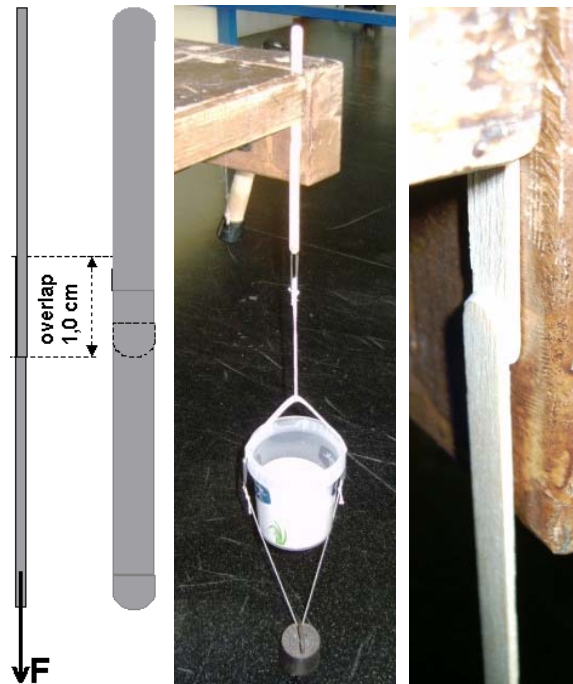
Er zijn twee soorten proefstukken:

- De proefstukken voor het bepalen van de maximale schuifspanning (uitgelegd onder het kopje ‘Het bepalen van de maximale schuifspanning’) bestaan uit twee ijscostokjes die met een overlap van 1,0 cm in elkaars verlengde op elkaar worden gelijmd.
- De proefstukken voor het bepalen van de maximale trekspanning (uitgelegd onder het kopje ‘Het bepalen van de maximale trekspanning’) bestaan uit twee ijscostokjes, die in het midden loodrecht op elkaar worden gelijmd zodat er een kruis ontstaat.

Het bepalen van de maximale schuifspanning

Zie ook § 5.4 van de lijmsite.

Bekijk de tekeningen en foto's in figuur 12. Klem het proefstuk verticaal in de bankschroef en belast deze met een toenemende verticale kracht. Deze kracht wordt uitgeoefend door aan het lijmstokje een plastic emmer te hangen. Gooi steeds een hoeveelheid zand in de emmer. Als de lijmverbinding het begeeft, is de maximale schuifspanning overschreden. De maximale verticale kracht die het proefstuk kan hebben, wordt gebruikt om die maximale schuifspanning te berekenen. Deze test voer je drie keer uit. Denk bij je berekening aan het gebruik van SI-eenheden.



Figuur 12: opstelling voor bepaling maximale schuifspanning.

- Maak drie proefstukken voor de maximale schuifspanning zoals hierboven is beschreven.

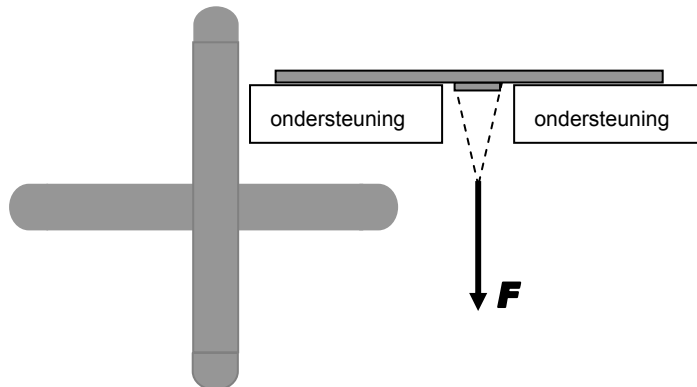
19. Opdracht

- Bereken het lijmoppervlak (A) in de proefstukken voor de bepaling van de maximale schuifspanning in m^2 .
- Bepaal voor alle drie de proefstukken de maximale schuifkracht.
- Bereken de maximale schuifspanning van de lijm. Laat je berekeningen zien.

Het bepalen van de maximale trekspanning

Ondersteun het proefstuk met de gelijkde kant onder links en rechts vlakbij de lijmnaden met bijvoorbeeld de geopende bekken van een bankschroef, of met twee gelijke tafels dicht bij elkaar (zie de tekeningen en foto's in figuur 13). Sla een rond geknoopt touw met de lussen links en rechts van het vrije gelijkde stuk en schuif de lussen tot vlak bij de lijmnaad. Bepaal nu de met een veerunster de maximale

kracht die het proefstuk kan hebben. Je kunt ook de methode met de plastic emmer en het zand gebruiken. Als de lijmverbinding het begeeft, is de maximale trekspanning overschreden. De maximale kracht die het proefstuk kan hebben wordt gebruikt om de maximale trekspanning te berekenen. Deze test wordt ook driemaal uitgevoerd. Denk ook hier aan de SI-eenheden.



Figuur 13: opstelling voor bepaling maximale trekspanning.

- Maak drie proefstukken voor de maximale trekspanning zoals hierboven is beschreven.

20. Opdracht

- Bereken het lijmoppervlak (A) in de proefstukken voor de bepaling van de maximale trekspanning in m^2 .
- Bepaal voor alle drie de proefstukken de maximale trekkracht.
- Bereken de maximale trekspanning van de lijm. Laat je berekeningen zien.

Aanvulling productblad

21. Opdracht

- a. Verzamel al je meetgegevens en berekende gegevens uit opdracht 19 en 20 in een overzichtelijke tabel.
- b. Geef een aantal redenen waarom je bij gelijke proefstukken niet exact dezelfde waarden meet.
- c. Leg uit welke waarden je nu opgeeft in je productblad voor de maximale schuifspanning en de maximale trekspanning.

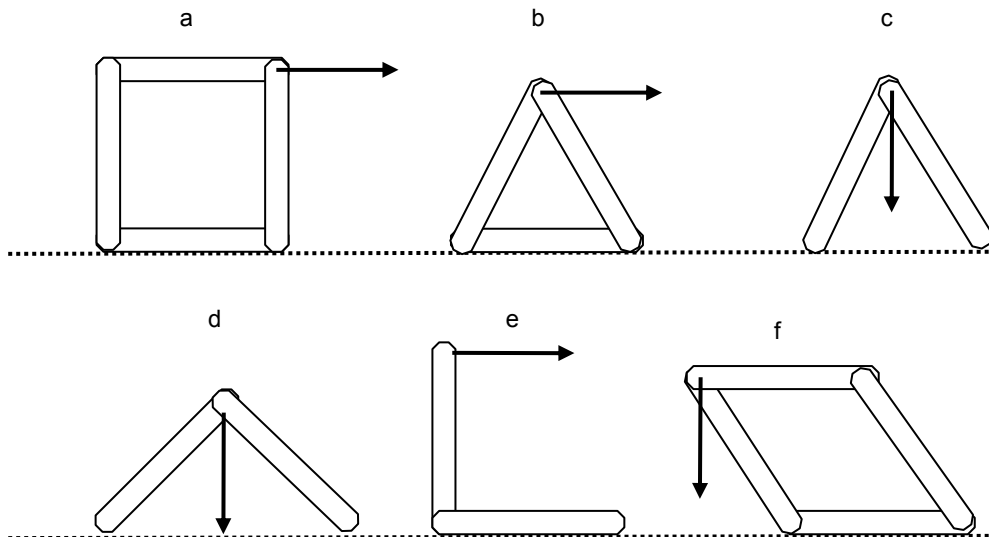
5.3 Sterkte van eenvoudige constructies



Om meer inzicht te krijgen in de sterkte van eenvoudige constructies ga je enkele eenvoudige constructies maken en kwalitatief testen. Als constructie-elementen gebruik je “geomag-materiaal”. Als krachtensor gebruik je weer je eigen krachtgevoel in je vingers.

22. Opdracht

- a. Onderzoek kwalitatief de sterkte van een aantal eenvoudige constructies door ze met diverse krachten in verschillende richtingen te belasten. Bij de voorbeelden in figuur 14 gaan we ervan uit dat ze vast op een ondergrond staan.
- b. Geef een overzicht van je onderzoek en geef daarbij aan welke constructies sterk en welke minder sterk zijn. Geef daarbij ook de verklaring door aan te geven:
 - waar in de constructie sprake is van trekkrachten
 - waar in de constructie sprake is van drukkrachten
 - waar in de constructie sprake is van buigende momenten.
- c. Herhaal opdracht 21a en 21b maar maak nu eenvoudige driedimensionale constructies. Geef ook hier weer de verklaring.



Figuur 14: voorbeelden van constructies.

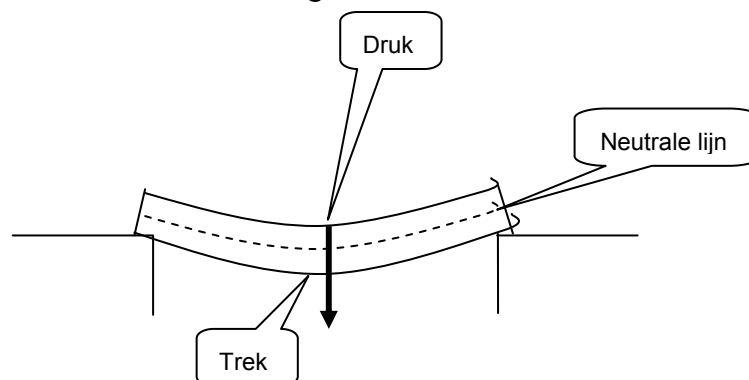
5.4 Brugconstructies

Er zijn bruggen met een eenvoudige constructie zoals de balkbrug, en er zijn bruggen met ingewikkelde constructies zoals:

- Boogbrug
- Tuibrug
- Cantileverbrug
- Hangbrug

De balkbrug is een rechthoekige balk die ondersteund wordt aan de uiteinden. Als deze brug wordt belast zal de balk doorbuigen, waardoor de onderkant uitgerekt, en dus langer wordt, terwijl de bovenkant ingedrukt, en dus korter wordt.

Aan de onderkant treden dus trekkrachten op en aan de bovenkant drukkrachten. Ongeveer in het midden van de balk blijft het materiaal even lang, dat noemen we de *“neutrale lijn”*. De doorbuiging geeft al aan dat er ook een buigend moment werkt. Zie ook de schets in figuur15.



Figuur 15: schets van neutrale lijn.

23. Opdracht

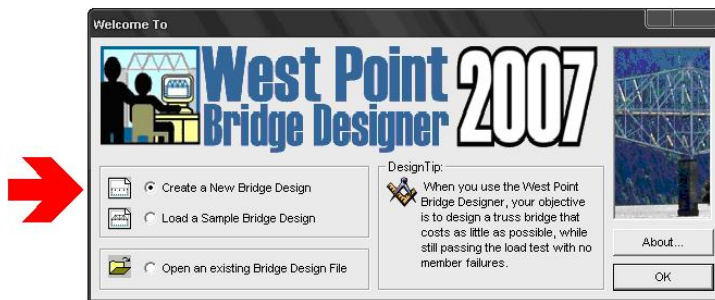
Lees de informatie in § 5.2 van de lijmsite. Maak voor ieder van de genoemde bruggen een schets en geef daarin aan waar de trek- en/of drukkrachten werken. Geef ook aan waar eventueel buigende momenten werken.

Om meer te leren over de eigenschappen van eenvoudige en meer ingewikkelde constructies ga je een simulatiespel doen. Je maakt gebruik van het programma Westpoint Bridge Designer.

24. Opdracht

Start het programma Westpoint Bridge Designer, je docent vertelt je hoe je dat moet doen. Voer in dit programma een aantal stappen uit. De stappen zijn weergegeven door middel van een aantal plaatjes

- a. Beschrijf duidelijk wat de kleuren van de constructie-elementen aangeven op het moment dat de vrachtauto over de brug rijdt
- b. Vergelijk je ontwerp met die van je medeleerlingen.



Step 1

Design Project Setup Wizard

1 Read the Design Requirement

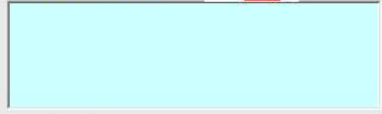
Design Requirement:

As a civil engineer working for the state Department of Transportation, you are responsible for designing a truss bridge to carry a two-lane highway across this river valley. Your objectives are:

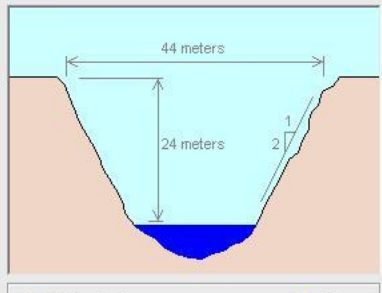
- (1) To ensure that the bridge can safely carry its own weight (to include the weight of the reinforced concrete deck), plus the weight of a standard truck loading.
- (2) To keep the cost of the project as low as possible.

For the complete Design Specifications, click the Help button below.

Deck Cross-Section



Elevation View



Site Cost: \$0.00

Buttons: Help..., Cancel, << Back, Next >>, Finish

Design Tip: The West Point Bridge Designer 2007 will help you satisfy these design requirements. The deck elevation and support configuration (which you will choose in Step 3) will be automatically set on the Drawing Board. WPBD will calculate the cost of your design as you work. WPBD also provides a simulated Load Test to check your bridge for structural safety, using the deck weight and standard truck loading that you will choose in Step 4. If your structure is not strong enough to carry the required loads, WPBD will highlight the members that need to be strengthened.

Step 2

Design Project Setup Wizard

2 Enter Local Contest Information

Local Contest Code


Are you participating in a local bridge design contest?

No

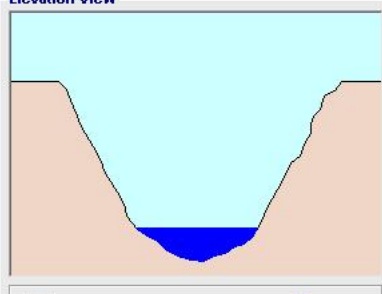
Yes

Enter the Local Contest Code:

Deck Cross-Section



Elevation View



Site Cost: \$0.00

Buttons: Help..., Cancel, << Back, Next >>, Finish

Design Tip: Contestants in sponsored local bridge design contests may only use the specific design project (i.e., the site configuration and load case) designated for that particular local contest. When you enter the Local Contest Code here, the specified site configuration and load case will be automatically set on the Drawing Board. If you enter a valid Local Contest Code and click the Next button, the Design Project Setup Wizard will advance to Step 5, because the site configuration and load case are already set. If you click No, you will be able to choose any one of 392 available design projects.

Step 3

Design Project Setup Wizard

3 Select the Deck Elevation and Support Configuration

Deck Elevation:

- 12 meters
- 24 meters
- 20 meters
- 16 meters
- 12 meters
- 8 meters
- 4 meters
- 0 meters

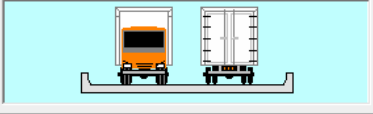
Height of Abut.: 4 meters

No Pier (One Span)
 Pier (Two Spans)

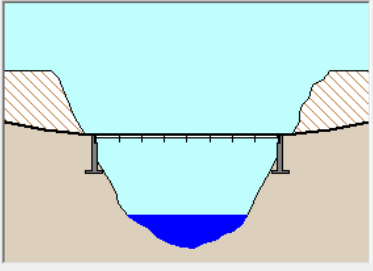
Height of Pier: 0 meters

No Cable Anchorages
 One Cable Anchorage
 Two Cable Anchorages

Deck Cross-Section



Elevation View



= River Banks = Excavation = River
 = Deck = Abutment

Design Tip:
 The total cost of the design is the Site Cost plus the Truss Cost. The Site Cost is shown below. The Truss Cost will be computed when you design the truss.

In general, configurations that increase the Site Cost tend to reduce the Truss Cost and vice versa. For example, a lower deck elevation usually increases the Site Cost, because it requires more excavation, but a lower deck also reduces the Truss Cost, because it shortens the span length. Try to find the best balance between these two competing costs.

For more information on selecting a site configuration, click the Help button below.

Site Cost: \$91,500,00 (Includes cost of deck, excavation, and supports. Does not include cost of steel trusses.)

Help... Cancel << Back Next >> Finish

Step 4

Design Project Setup Wizard

4 Select the Deck Material and Truck Loading

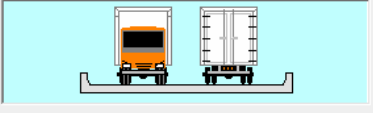
Deck Material

- Medium-Strength Concrete (0.23 meter thick)
- High-Strength Concrete (0.15 meter thick)

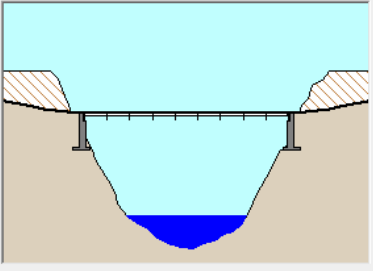
Loading

- Standard 180 kN Truck (Two Lanes)
- 660 kN Permit Loading (Centered)

Deck Cross-Section



Elevation View



= River Banks = Excavation = River
 = Deck = Abutment

Design Tip:
 Medium-strength concrete is relatively inexpensive, but its use results in a thicker deck, which adds more load to the structure. Greater load will tend to increase the truss cost.

High-strength concrete is more expensive, but because of its higher strength, the deck can be thinner and thus lighter. Lower loads associated with the deck weight will tend to decrease the truss cost.

You may also choose either of the two truck loads shown.

For more information on selecting a load case, click the Help button below.

Site Cost: \$62,000,00 (Includes cost of deck, excavation, and supports. Does not include cost of steel trusses.)

Help... Cancel << Back Next >> Finish

Step 5

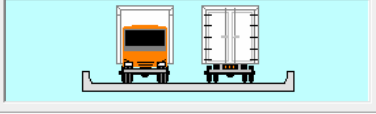
Design Project Setup Wizard

5 Select a Standard Truss Template (optional)

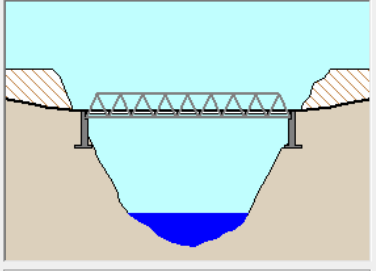
Select a Template:

- < none >
- Pratt Through Truss
- Pratt Deck Truss
- Howe Through Truss
- Howe Deck Truss
- Warren Through Truss**
- Warren Deck Truss

Deck Cross-Section



Elevation View



= River Banks = Excavation = River
 = Deck = Abutment

Design Tip:

A template is a diagram that depicts a standard truss configuration. If you select a template, it will be displayed in light gray dotted lines on the Drawing Board. The template will show you where to draw joints and members to ensure that your bridge design is stable.

A stable truss is one that is composed of interconnected triangles. An unstable truss cannot carry any load. For more information about structural stability, click the Help button below.

Site Cost: \$82,000.00 (Includes cost of deck, excavation, and supports. Does not include cost of steel trusses.)

Help... Cancel << Back Next >> Finish

Step 6

Design Project Setup Wizard

6 Fill in the Title Block (optional)

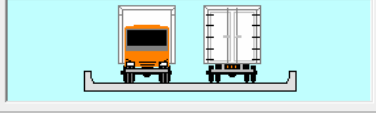
Title Block Information:

Project Name: Dennis H. Mahan Bridge

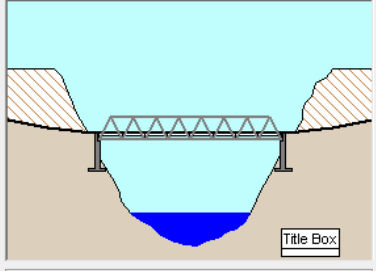
Designed By: naam leerling

Project ID: 00004A- niet nodig

Deck Cross-Section



Elevation View



= River Banks = Excavation = River
 = Deck = Abutment

Design Tip:

The title block will be displayed on the lower right-hand corner of the Drawing Board and on your printed design drawings.

Enter your name in the Designed By box, and use the Project ID box to give your design a unique name or number. You can change these items later by clicking them directly on the Drawing Board.

Site Cost: \$91,500.00 (Includes cost of deck, excavation, and supports. Does not include cost of steel trusses.)

Help... Cancel << Back Next >> Finish

Step 7

Design Project Setup Wizard

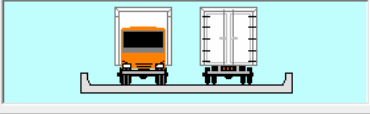
7 Design the Steel Truss

To Design the Truss:

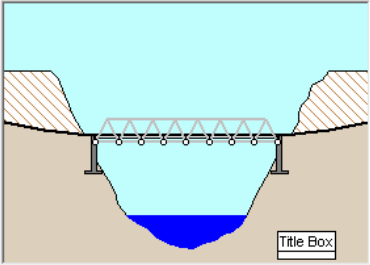
- (1) Click the Finish button to activate the Drawing Board.
- (2) Draw the joints.
- (3) Draw the members.
- (4) Run the Load Test to check the strength of your design.
- (5) Strengthen any members that fail during the Load Test.
- (6) Optimize the design by minimizing its cost.

For more information about the design process, click the Help button below.

Deck Cross-Section



Elevation View



□ = River Banks □ = Excavation ■ = River
≡ = Deck ⚓ = Abutment

Design Tip:

When you click the Finish button, the Site Design Wizard will automatically create the first 9 joints in your structural model.

According to the Design Specifications, the roadway must be supported by a series of joints spaced at 4 meter intervals. This 32-meter span requires 9 joints to support the deck.

These 9 joints cannot be erased or moved.

Site Cost:
\$91,500,00 (Includes cost of deck, excavation, and supports. Does not include cost of steel trusses.)

Help... Cancel << Back Next >> Finish

6 Eindopdracht: bouwen van een brug

6.1 Specifieke belasting



Jullie hebben een zelfgemaakte lijm uitgekozen en moeten hiermee een brug bouwen. Het bouw materiaal bestaat alleen uit deze lijm en uit houten ijscostokjes. De brug zal worden getest tot hij bezwijkt. Beoordelingscriterium voor de maximale last is de specifieke belasting; het aantal malen dat de brug zijn eigen gewicht kan dragen:

$$\text{specifieke belasting} = \frac{\text{maximale belasting}}{\text{eigen gewicht}} \quad (1)$$

Maar voor jullie gaan bouwen moet de brug eerst ontworpen worden!

6.2 Het ontwerpproces



Bij het ontwerpen van de brug gebruik je de ontwerpcyclus die je ook in de startmodule van NLT hebt gehad. Je kunt de instructies vinden in de ► NLT Toolbox onder 'technisch ontwerpen'. Het programma van eisen wordt voor een deel door de klant of opdrachtgever bepaald en in dit geval is dat ook zo .

Het is belangrijk om eerst verschillende soorten bruggen te bekijken voor je tot een ontwerp komen.

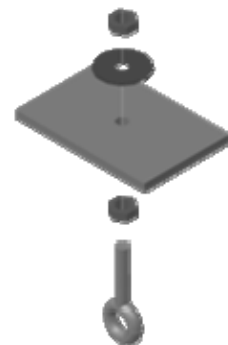
25. Opdracht

Geef de belangrijkste kenmerken van de verschillende soorten bruggen en leg voor elk type brug uit in welke situatie dit type toegepast kan worden.

Bekijk het programma van eisen in paragraaf 6.3 en beslis welke soorten bruggen in aanmerking komen voor je ontwerp en welke niet.

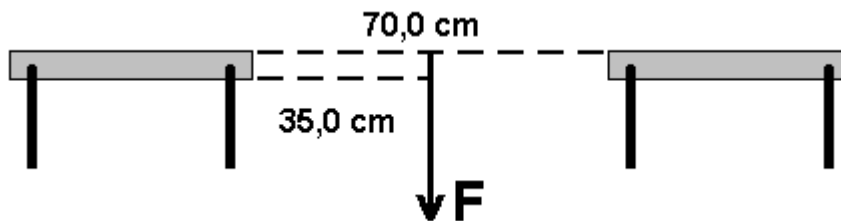
6.3 Ontwerpeisen

- Voor de constructie mogen alleen ijscostokjes en de zelfgemaakte lijm gebruikt worden.
- De ijscostokjes mogen niet in delen worden gebruikt, je mag er niet in zagen of snijden.
- Er mogen maximaal 250 ijscostokjes worden gebruikt.
- Voor het testen van de sterkte van de brug moet in het midden van de brug een standaard ophanghaak kunnen worden aangebracht.
- De haak bestaat uit de volgende onderdelen (zie figuur 16):



Figuur 16: onderdelen ophanghaak.

- 1 plaatje multiplex van 60 x 60 x 3,6 mm
 - 1 oogbout M 5 x 25
 - 1 carrosseriering M 5 x 20
 - 2 moeren M 5
- De haak maakt geen deel uit van de constructie.
 - De constructie mag onbelast niet onder de opleggingen uitkomen, de haak wel.
 - De brug heeft een netto overspanning van 70,0 cm. De echte brug is natuurlijk langer, want de uiteinden liggen op twee tafels, die 70,0 cm uit elkaar staan. Zie de tekening in figuur 17.



Figuur 17: overspanning van de brug.

- Over de brug moet een automodel kunnen rijden; lengte 11 cm, breedte 4,5 cm, hoogte 4 cm. Voor het wegdek wordt een strook dun karton van 6,0 x 70 cm gebruikt. Deze strook wordt los op de brug gelegd en hoort dus niet bij de constructie van de brug.
- De lijm mag uitsluitend gebruikt worden als verbindingsmiddel tussen de ijscostokjes en niet als verstevigingrug of fillet.

Ontwerpverslag

Voordat je met de uiteindelijke bouw van de brug mag beginnen, moet je eerst een *ontwerpverslag* van de brug hebben gemaakt. In dit ontwerpverslag staat onder meer:

1. Een uitleg van de gemaakte ontwerpkeuzes zoals: gekozen type brug, soort constructie, uiteindelijke lengte, etc.
2. Een gefundeerde argumentatie over de manier van bezwijken. Waar gaat de brug het eerst kapot en waarom is dat zo? Gebruik in je verklaring de juiste natuurkundige grootheden.
3. Een gefundeerde schatting van de maximale belasting of specifieke belasting. Hierbij moet je gebruik maken van de resultaten van de treksterktebepalingen die je eerder hebt uitgevoerd.

Pas als het ontwerpverslag is goedgekeurd, kun je beginnen met de bouw.

6.4 De bezwijkingstest



Twee tafels worden op een afstand van 70,0 cm opgesteld. De brug wordt over de beide tafels gelegd en de haak wordt aangebracht.

De kracht die voor een bezwijking van een of ander deel van de brug zorgt, is de maximale lastkracht. Hiermee kan dan de specifieke belasting worden berekend.

26. Opdracht

- a. Bereken de specifieke belasting van de brug. Laat je berekening zien.
- b. Het zal duidelijk zijn dat in de praktijk een brug niet destructief zal worden getest. Leg uit hoe men dan toch op een niet-destructieve wijze tot veilige bruggen komt.